

Проектирование реконструкции продольного профиля с обоснованием уклонов продольного профиля

П.В. Ковтун, Т.А. Дубровская ✉

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

✉rt-555@yandex.ru

Резюме

При скоростном движении для обеспечения комфортабельности езды пассажиров предъявляются более жесткие требования к плану линии: кривым малых радиусов, длинам прямых вставок и переходных кривых, которые увеличиваются для стабилизации подвижного состава. Пересечения с автодорогами осуществляются на разных уровнях, заменяются стрелочные переводы, переустраиваются пассажирские платформы. Кроме того, модернизируются устройства системы центральной блокировки и связи, усиливаются контактная сеть и тяговые подстанции, принимаются меры по защите окружающей среды. Однако при обращении внимания на план линии, криволинейные участки, радиусы кривых, верхнее строение пути не всегда учитывается влияние уклонов существующего продольного профиля на реализацию скоростного движения. В процессе движения поезда по переломам продольного профиля в поезде, кроме тяговых и тормозных усилий, появляются дополнительные усилия, величина которых зависит от массы поезда, скорости его движения и алгебраической разности уклонов, образующих этот перелом Δi . При повышении скоростей движения поездов профиль существующего участка должен удовлетворять современным нормативным требованиям. Так, наибольший продольный уклон на скоростных линиях не должен превышать 18 ‰. Продольный профиль следует проектировать по возможности большей длины при наименьшей разности сопрягаемых уклонов смежных элементов. Наибольшая алгебраическая разность уклонов смежных элементов профиля $[\Delta i]$ должна быть не более 6 ‰ для скоростного участка железной дороги. Все приведенные нормативные требования усложняют реализацию планов по введению скоростного движения поездов. Например, на направлении Гомель – Минск на протяжении всего направления (300 км) таких участков, где разность соседних уклонов больше 6 ‰, оказалось около 147 км или 49 ‰. Все эти участки требуют перепроектирования и приведения таких уклонов, чтобы разность стала $\Delta i \leq 6$ ‰.

Ключевые слова

железная дорога, продольный профиль, оптимизация, разность уклонов, скоростное движение

Для цитирования

Ковтун П.В. Анализ влияния продольного профиля на скорость движения поездов / П.В. Ковтун, Т.А. Дубровская // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 2(78). С. 61–71. DOI 10.26731/1813-9108.2023.2(78).61-71.

Информация о статье

поступила в редакцию: 18.04.2023 г.; поступила после рецензирования: 2.06.2023 г.; принята к публикации: 5.06.2023 г.

Design of longitudinal profile reconstruction with justification of longitudinal slopes

P.V. Kovtun, T.A. Dubrovskaya ✉

Belarusian State University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

✉rt-555@yandex.ru

Abstract

In high-speed traffic, to ensure passenger comfort, more stringent requirements are imposed on the line plan: curves of small radii, lengths of straight inserts and transition curves, which are increased to stabilize the rolling stock. Intersections with highways are carried out at different levels, turnouts are replaced, passenger platforms are rebuilt. In addition, the devices of the central blocking and communication system are being modernized, the contact network and traction substations are being strengthened, and measures are being taken to protect the environment. However, paying attention to the line plan, curved sections, curve radii and the superstructure of the track, the influence of the existing longitudinal profile slopes on the implementation of high-speed traffic is not always taken into account. When the train moves along the fractures of the longitudinal profile, additional forces appear in the train in addition to traction and braking forces, their magnitude depending on the mass of the train, the speed of its movement and the algebraic difference of the slopes forming this fracture Δi . With increasing of train speeds, the profile of the existing section must meet current regulatory requirements. Thus, the greatest longitudinal slope on high-speed lines should not exceed 18 ‰. The longitudinal profile should be designed as long as possible with the smallest possible difference in the mating slopes of adjacent elements. The greatest algebraic difference in the slopes of adjacent profile elements $[\Delta i]$ should be no more than 6 ‰ for a high-speed section of the railway. All of the above regulatory requirements put the implementation of plans for the introduction of high-speed train traffic "at a standstill". For example, in the Gomel-Minsk direction (along

the entire direction of 300 km sections with the difference of neighboring slopes greater than 6 % turned out to be about 147 km or 49%). All these sections require redesigning and the use of slopes with the difference $\Delta i \leq 6\%$, which in turn constrains the increase in speed.

Keywords

railway, longitudinal profile, optimization, slope difference, high-speed traffic

For citation

Kovtun P.V., Dubrovskaya T.A. Proektirovanie rekonstruktsii prodol'nogo profilya s obosnovaniem uklonov prodol'nogo profilya [Design of longitudinal profile reconstruction with justification of longitudinal slopes]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 2(78), pp. 61–71. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.2(78).61-71.

Article info

Received: April 18, 2023; Revised: June 2, 2022; Accepted: June 5, 2023.

Введение

Проблеме повышения скоростей движения поездов на железной дороге уделяется огромное внимание [1–3].

В странах Западной Европы и Японии наибольшую скорость движения – 200–350 км/ч – можно реализовать при организации высокоскоростного движения поездов на специализированных высокоскоростных магистралях (ВСМ). Однако строительство ВСМ и специализированного подвижного состава требует больших капиталовложений, исчисляемых миллиардами долларов. Инвестирование в таком объеме не всегда возможно. В этом случае как альтернативный вариант можно рассматривать организацию скоростного пассажирского движения на линиях с совмещенным движением грузовых и пассажирских поездов: до 140–160 км/ч после капитального ремонта пути и до 200 км/ч на реконструированных линиях [4].

Реконструктивные мероприятия для повышения скоростей движения на железной дороге должны планироваться так, чтобы были гарантированы безопасность и бесперебойность движения поездов, сократилось время пассажиров в пути при обеспечении потребных размеров перевозок и наименьших строительно-эксплуатационных затрат [5].

Значение скорости движения поездов в работе железнодорожного транспорта представляется всегда широкой панорамой влияния, с одной стороны, скорости на перевозочный процесс грузов и пассажиров, с другой стороны – подвижного состава, инфраструктуры и организации перевозок на скорость. Несмотря на, казалось бы, всю определенность скорости движения, история ее развития свидетельствует о большом диапазоне мнений и неочевидности

оценок. Взаимодействие скорости движения поездов со всеми составляющими перевозочного процесса описывается различными зависимостями [6].

При скоростном движении для обеспечения комфортабельности езды пассажиров предъявляются более жесткие требования к плану линии: длины прямых вставок и переходных кривых увеличиваются для стабилизации подвижного состава на концах круговых кривых, пересечения с автодорогами осуществляются на разных уровнях, заменяются стрелочные переводы, переустраиваются пассажирские платформы и др. Кроме того, модернизируются устройства системы центральной блокировки и связи, усиливаются контактная сеть и тяговые подстанции, принимаются меры по защите окружающей среды. Однако при обращении внимания на план линии [7], криволинейные участки [8], радиусы кривых [9], верхнее строение пути [10, 11] не всегда учитывается влияние уклонов существующего продольного профиля на реализацию скоростного движения.

Целью данной статьи является дальнейшее изучение влияния продольного профиля существующих железнодорожных линий на увеличение скоростей движения поездов.

Основные требования норм проектирования

Условия проектирования продольного профиля в значительной мере зависят от длины его элементов. Вопрос о рациональной длине элемента профиля связан с необходимостью решения двух до некоторой степени противоречивых положений:

1. Со строительной точки зрения, чем короче элементы профиля, тем лучше проектная линия вписывается в очертание рельефа местно-

сти (особенно в холмистых и горных условиях) и тем меньше объемы работ по сооружению земляного полотна и возведению водопропускных сооружений.

2. Длина элементов профиля в значительной мере влияет на условия движения поезда. Очевидно, что чем короче элемент, тем больше под поездом одновременно может находиться переломов профиля. Каждый перелом под движущимся поездом вызывает необходимость изменения режима работы локомотива (включение тяги или отключение ее), а также изменение напряжений в межвагонных сцепных приборах (в силу изменения на переломе профиля величины дополнительного сопротивления от уклона), что приводит к нарушению плавности движения поезда. Поэтому для обеспечения более благоприятных условий эксплуатации короткие элементы продольного профиля нежелательны.

Однако существующие линии проектировались давно, когда проектная линия укладывалась максимально близко к земле для уменьшения объемов земляных работ при строительстве. Из-за этого уклоны иногда принимались очень большие, да и разность уклонов при этом нормировалась не для высоких скоростей.

При движении поезда по переломам продольного профиля в поезде кроме тяговых и тормозных усилий появляются дополнительные усилия, величина которых зависит от массы поезда, скорости его движения и алгебраической разности уклонов, образующих этот перелом Δi [12].

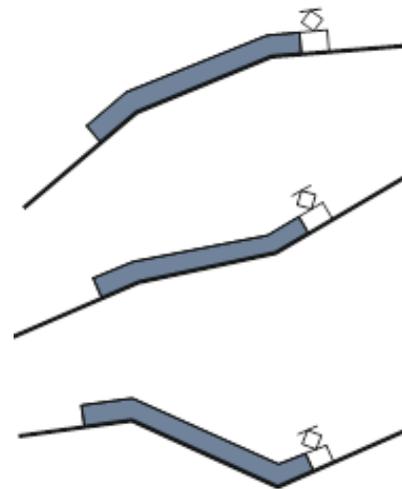


Рис. 1. Переломы профиля под поездом
Fig. 1. Profile fractures under the train

Если под поездом одновременно находятся несколько точек перелома, усилия от переломов суммируются, вследствие волнового характера распространения усилий (рис. 1). Поэтому регламентируются нормы, касающиеся алгебраической разности сопрягаемых уклонов и длин разделительных площадок элементов переходных кривых.

На железных дорогах в режиме торможения можно выделить вредные ямы, вредные уступы и горбы у подножия вредных уступов (рис. 2).

Существуют участки профиля, по которым поезда движутся с высокими скоростями в режиме холостого хода или в режиме тяги, но

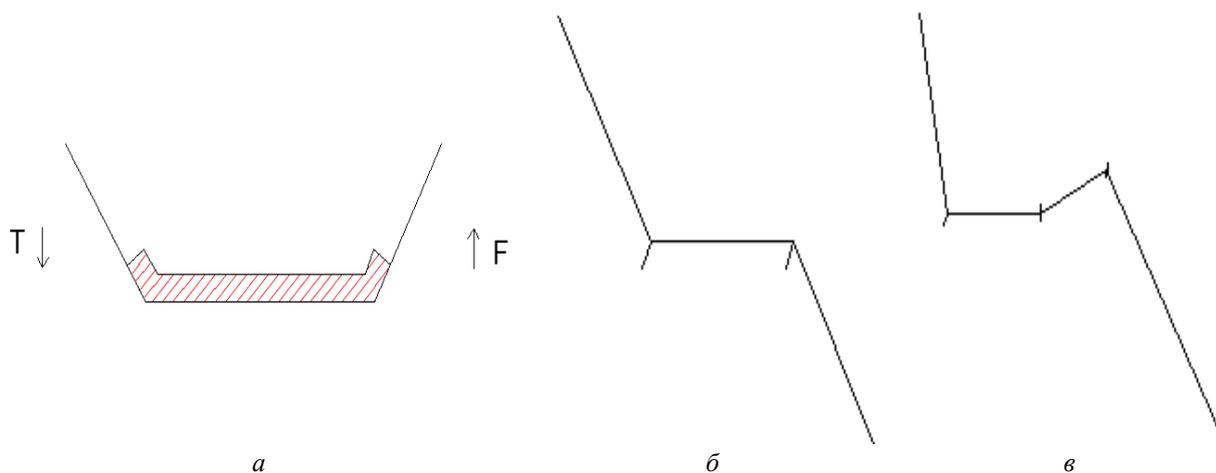


Рис. 2. Схемы участков в режиме торможения:
a – вредной ямы; *б* – вредного уступа; *в* – горба у подножия вредного уступа

Fig. 2. Schemes of sections in braking mode:
a – harmful pit; *b* – harmful ledge; *c* – hump at the foot of harmful ledges

при малых усилиях в растянутых цепных приборах или при больших тяговых усилиях, но малых скоростях движения (рис. 3).

С учетом этого Свод Правил 19.13330.2017 [13] устанавливает, что во вредных ямах, на вредных уступах и на горбах у подножия вредных уступов следует использовать только рекомендуемые нормы, т. е. большие по длине и меньшие по разности уклоны; во всех остальных случаях – в безвредных ямах, в безвредных уступах и на затяжных подъемах – можно использовать и допускаемые нормы, т. е. большие по разности уклоны и меньшие по длине разделительных площадок элементы переходных кривых.

При повышении скоростей движения поездов профиль существующего участка должен удовлетворять требованиям [14, 15].

Наибольший продольный уклон на скоростных линиях не должен превышать 18 ‰. Продольный профиль следует проектировать по

возможности большей длины при наименьшей разности сопрягаемых уклонов смежных элементов. Наибольшая алгебраическая разность уклонов смежных элементов профиля $[\Delta i]$ должна быть не более 6 ‰ для скоростного участка железной дороги.

Наименьшая длина элемента продольного профиля $[L]$ равна 250 м для скоростной магистрали. При большей разности уклонов ($\Delta i > [\Delta i]$) смежные элементы следует сопрягать посредством разделительных площадок и (или) элементов переходной крутизны, длина которых должна быть не менее приведенных ранее значений $[L]$ [16].

Для обеспечения плавного перехода поезда через переломы профиля со значительной алгебраической разностью уклонов производится сопряжение смежных элементов одним из следующих способов:

– круговой кривой в вертикальной плоскости (рис. 4);

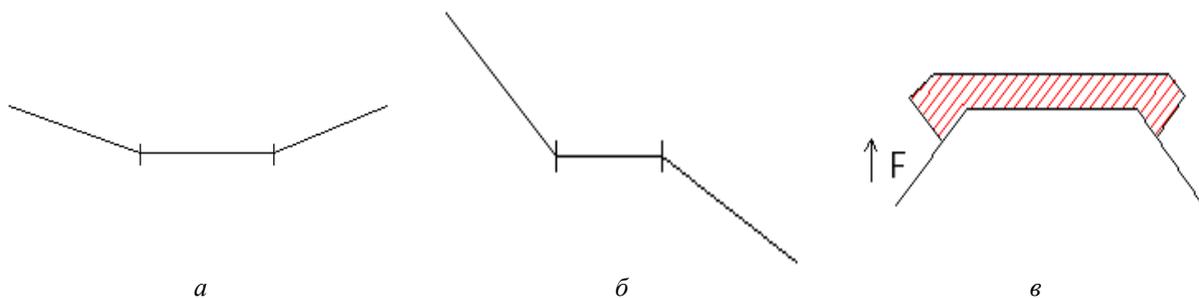


Рис. 3. Участки профиля с движением в режимах холостого хода или тяги:

a – безвредная яма; *b* – безвредный уступ; *c* – «горб»

Fig. 3. Sections of the profile with movement in idle or traction modes:

a – harmless pit; *b* – harmless ledge; *c* – «hump»

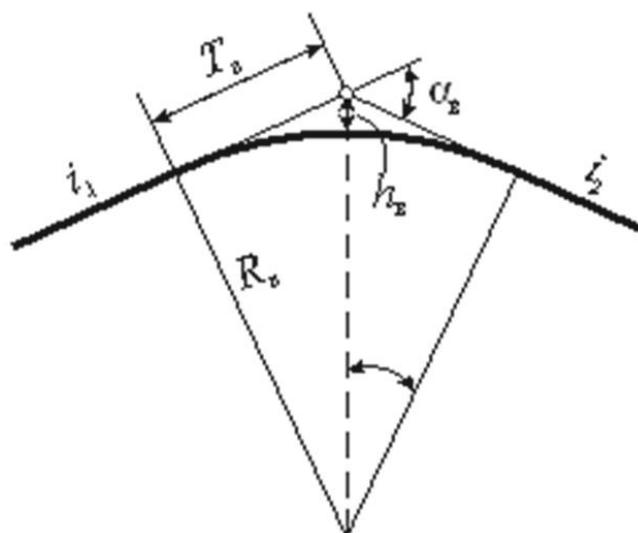


Рис. 4. Сопряжение элементов профиля круговой кривой

Fig. 4. Coupling of circular curve profile elements

– профилем криволинейного очертания «цепочный профиль» (рис. 5).

При первом способе смежные прямолинейные элементы профиля сопрягаются в вертикальной плоскости кривой радиусом R_b , м: 20 000 – на скоростных линиях, 15 000 – на линиях пассажирских I, II категории, 10 000 – на особо грузонапряженных линиях и линиях III категории, 5 000 – на линиях IV категории.

Смежные элементы продольного профиля следует сопрягать в вертикальной плоскости кривыми радиусами R_b . Их назначение – предотвратить саморасцеп автосцепок смежных вагонов поезда при прохождении их через перелом продольного профиля пути и обеспечить комфортные условия езды пассажиров.

На схематическом продольном профиле проектная линия показывается без учета сопрягающей кривой. Изменение отметок пути на переломах профиля в пределах вертикальных кривых достигается за счет досыпки земляного полотна. Наибольшая величина поправки h_b (рис. 4), соответствующая точке перелома профиля, вычисляется как эвольвента $h_b = T_b^2/2R_b$. При очень малых значениях алгебраической разности сопрягаемых уклонов (например, $\Delta i < 2\%$) максимальная поправка не превышает 0,01 м. В этом случае устройство кривой в вертикальной плоскости не имеет смысла, так как, во-первых, кривую радиусом более 20 000 м очень трудно содержать, во-вторых, требуемая плавность движения поездов обеспечивается в достаточной мере и без нее.

В соответствии со сводом правил устройство сопрягающей кривой обязательно в тех случаях, когда разность уклонов более 2 ‰ на скоростных линиях; 2,3 ‰ – на линиях пассажирских I, II категории; 2,8 ‰ – на линиях III категории; 4 ‰ – на линиях IV категории. Пре-

имуществом этого способа сопряжения является относительная простота в разбивке и содержании пути.

Величина радиуса вертикальной кривой 1 500, 2 000 и 2 500 м установлена исходя из наибольших скоростей движения пассажирских поездов 160, 200 км/ч при значении вертикального ускорения a_b , равного $0,2 \text{ м/с}^2$ [17]. Вертикальные кривые следует размещать вне переходных кривых, а также вне пролетных строений мостов и путепроводов с безбалластной проезжей частью.

Второй способ предусматривает сопряжение смежных уклонов короткими элементами плавно изменяющейся крутизны, сопрягающимися с примыкающими к ним по краям цепочки прямолинейными элементами профиля, благодаря чему участок сопряжения приобретает криволинейное очертание.

При таком сопряжении длина отрезков цепочки принимается, как правило, не менее 50 м и во всех случаях не менее 25 м (длина рельса), а алгебраическая разность уклонов смежных элементов определяется по формуле (1) в [17]. Общая длина «цепочного сопряжения» должна быть не менее минимально возможной приведенной длины соответствующего участка профиля, запроектированного прямолинейными элементами. Постоянная для данного способа сопряжения разность уклонов должна быть обеспечена не только на всех переломах внутри цепочки, но и в начале, и в ее конце.

Этот способ обеспечивает большую плавность движения поезда, чем при сопряжении вертикальными кривыми радиусами 20 000–5 000 м, однако из-за частого изменения уклона на небольшую величину он требует более мощного верхнего строения пути, при ко-

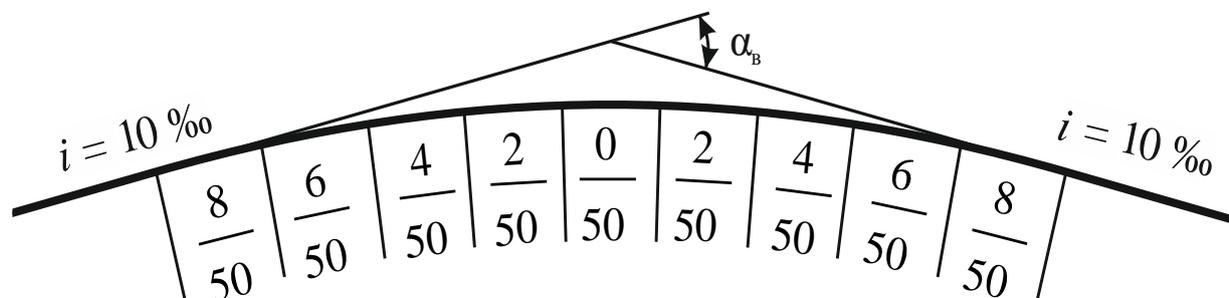


Рис. 5. Сопряжение элементов профилем криволинейного очертания
Fig. 5. Coupling of elements by a curvilinear outline profile

тором деформации такого профиля будут минимальными. Поэтому в настоящее время сфера его применения крайне ограничена.

Все приведенные нормативные требования ограничивают реализацию планов по введению скоростного движения поездов.

Анализ продольного профиля направления Гомель – Минск

В рамках государственных программ за последние восемь лет были закуплены 30 грузовых магистральных электровозов, 18 электропоездов и 13 дизель-поездов. В том числе в сотрудничестве с китайскими партнерами стальная магистраль приобрела 12 двухсекционных электровозов БКГ-1 и 18 односекционных электровозов БКГ-2 производства Датунского электровозостроительного завода. Такое решение было принято с учетом расширения полигона электрификации дороги. Планы дальнейшего развития локомотивного хозяйства предусматривают приобретение в 2021–2025 гг. десяти единиц электропоездов межрегиональных линий пятивагонной составности производства ЗАО «Штадлер Минск» ($v_k = 160$ км/ч) (Беларусь). Также планируется закупка электровозов серии БКГ в количестве 15 ед. с возможностью ведения пассажирских поездов.

Эксплуатация мощных локомотивов позволила формировать поезда с увеличением их среднего веса и длины. Это создает предпосылки для снижения себестоимости перевозок и повышения их привлекательности для грузовладельцев, особенно в сфере транзитных контейнерных перевозок.

Задействованные на важнейших направлениях перевозок современные электропоезда стали воплощением инновационных решений, призванных вывести Белорусскую стальную магистраль на новый уровень развития.

Одно из важных направлений Белорусской железной дороги является железнодорожная линия Минск – Гомель – линия от Минска через Осиповичи, Жлобин и далее до Гомеля. На всем протяжении линия двухпутная, электрифицированная.

На участке Гомель – Минск запланирована организация скоростных пассажирских перевозок по маршруту Гомель – Жлобин – Минск (300 км). Для того чтобы указанный маршрут был востребован у пассажиров, время

следования по участку должно быть минимальным. Запланировано повышение установленных скоростей движения грузовых поездов до 100 км/ч и установление скоростей движения пассажирских поездов на уровне 141–160 км/ч и выше [18].

Возможность повышения скорости движения пассажирских поездов до 160 км/ч на направлении основывается на анализе технических характеристик, показателей плана и профиля, а также причин, ограничивающих скорость.

Анализ причин ограничения скорости пассажирских и грузовых поездов показал, что главными факторами, которые сдерживают повышение скорости на всем участке, являются:

- состояние верхнего строения пути (сверхнормативный износ рельсов, наличие дефектных скреплений и шпал);
- станционные устройства, которые нуждаются в модернизации или реконструкции;
- несоответствие переломов продольного профиля современным нормам и требованиям к проектированию скоростных железных дорог.

При этом последний фактор играет одну из важных ролей в повышении скоростей. После анализа продольного профиля направления Минск – Гомель выявлены участки, на которых разность соседних уклонов (Δi) больше 6 ‰, что недопустимо для скоростей 161 км/ч и выше. Только в пределах Гомельской дистанции пути (протяженность участка около 20 км) таких «барьерных» мест порядка 15.

На протяжении всего направления (300 км) таких участков, где разность соседних уклонов больше 6 ‰, оказалось около 147 км или 49 ‰. Эти участки требуют перепроектирования и применения таких уклонов, чтобы разность стала $\Delta i \leq 6$ ‰.

Переустройство продольного профиля рассмотрено на всем протяжении и перепроектировано согласно нормативным требованиям. Все уклоны старались изменять с наименьшими объемами работ. Однако существующая застройка, наличие промежуточных станций не всегда позволяют это осуществить.

Для примера приведен участок профиля, на котором имеется разность уклонов больше 6 ‰ (рис. 6). Для него уложена новая проектная линия с соседними уклонами, разность которых меньше 6 ‰ (рис. 7).

Для проверки движения пассажирских поездов со скоростями свыше 140 км/ч и грузовых поездов со скоростью 100 км/ч по переустроенному профилю решена инженерная задача по тяговым расчетам. Тяговые расчеты произведены для грузовых составов с электровозом БКГ1-012 и пассажирского состава электропоезда серии ЭПм.

Из расчета следует, что по переустроенным участкам с уклонами 2,8; 3,0; 1,3; 2,2; 1,6 ‰ локомотив БКГ1-012 может двигаться со скоростью 100 км/ч (максимальная масса состава 3 500 т), а пассажирский электропоезд ЭПм может свободно передвигаться со скоростью свыше 140 км/ч.

Проанализировав существующее расположение пути, отметим, что при изменении уклонов будет затронуто больше 50 % суще-

ствующей инфраструктуры, что тоже потребует переустройства.

Заключение

При введении скоростного движения помимо реконструкции плана требуется и реконструкция продольного профиля. Два этих мероприятия являются самыми трудозатратными. Изучив требования к продольному профилю при введении скоростного движения поездов, выявлены «барьерные» места в профиле, самыми многочисленными из которых являются реконструкция плана и профиля. Сравнив два основных мероприятия по повышению скоростей движения поездов делаем вывод, что стоимость переустройства профиля примерно в 1,5 раза дороже стоимости переустройства криволинейных участков.

Список литературы

1. Ерофеев А.А., Ковтун П.В., Дубровская Т.А. Проблемы повышения скорости движения поездов на существующих железнодорожных линиях // Вестник БелГУТ. 2018. № 39. С. 57–60.
2. Михеева Г.А. Перспективы развития высокоскоростного и скоростного движения в России // Тр. 79-й студенч. науч.-практ. конф. РГУПС. Воронеж, 2020. Ч. 1. С. 72–74.
3. Ковтун П.В., Дубровская Т.А., Стрижак А.И. Анализ основных технических решений, направленных на повышение скоростей движения поездов в Республике Беларусь // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2022. № 2 (61). С. 16–23.
4. Харина Е.В. Выбор рациональных мер по повышению скорости движения пассажирских поездов в условиях растущего объема грузовых и пассажирских перевозок : автореф... дис. канд. техн. наук. М. : МИИТ, 2004. 24 с.
5. Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines / I. Lebid, I. Kravchenya, T. Dubrovskaya et al. // MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 294 (7). P. 05003. DOI 10.1051/mateconf/201929405003.
6. Левин Д.Ю. Оптимизация скорости движения поездов // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 6(97). С. 73–90.
7. Карасев С.В., Калидова А.Д. Метод экспресс-оценки потребности изменения плана железнодорожных линий скоростного движения // Вестн. Сибир. гос. ун-та путей сообщ. 2020. № 2 (53). С. 46–53.
8. Калидова А.Д. Анализ возможностей совмещения скоростного и обычного движения с использованием существующей инфраструктуры // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2016. Т. 2. С. 52–55.
9. Карасев С.В., Зарубина Т.Д. Особенности организации скоростного движения с учетом использования имеющейся железнодорожной инфраструктуры // Политранспортные системы : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. Новосибирск, 2015. С. 61–67.
10. Совершенствование конструкции скоростного пути // Евразия вести : сайт. URL: <http://eav.ru/publ1.php?publid=2007-08a07>. (Дата обращения: 1.09.2022).
11. Колос А.Ф., Козлов И.С. Современные конструкции верхнего строения пути для строительства скоростных и высокоскоростных железнодорожных линий // Бюллетень результатов научных исследований. 2013. № 2. С. 16–21.
12. Довгелюк Н.В., Ахраменко Г.В., Царенкова И.М. Изыскания и проектирование железных дорог. Гомель : БелГУТ, 2013. 332 с.
13. СП 119.13330.2017 Железные дороги колеи 1520 мм (с изменением № 1 от 24.12.2019) : утв. приказом Минстроя РФ № 1648/пр от 12.12.2017 г. Введ. 2018–06–13. М. : Минстрой России, 2017. 41 с.
14. СТП БЧ 56.263-2013. Железнодорожные пути. Устройство и эксплуатация пути на участках обращения скоростных пассажирских поездов. Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2014. 286 с.
15. СНБ 3.03.01-98. Железные дороги колеи 1520 мм. Введ. 1998–08–01. Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 1998. 26 с.
16. Об утверждении Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : постановление Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.11.2015 № 52 // Pravo.by : национал. прав. Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21530414p&p1=1> (Дата обращения 1.09.2022).

17. СП 237.1326000.2015. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования : утв. приказом Минтранса РФ № 208 от 6.07.2015 г. Введ. 2015–07–01. М. : Стандартинформ, 2015. 57 с.

18. Об установлении скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге (с изменениями и дополнениями) : приказ начальника дороги от 28 апреля 2021 №231Н. Минск, 2021. 93 с.

References

1. Erofeev A.A., Kovtun P.V., Dubrovskaya T.A. Problemy povysheniya skorosti dvizheniya poezdov na sushchestvuyushchikh liniyakh [Problems of increasing the speed of trains on existing railway lines]. *Vestnik BelGUT* [Bulletin of Belarussian State University of transport], 2018, no. 2 (37), pp. 57–59.

2. Mikheeva G.A. Perspektivy razvitiya vysokoskorostnogo i skorostnogo dvizheniya v Rossii [Prospects for the development of high-speed and high-speed traffic in Russia]. *Trudy 79-i studencheskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii RGUPS* [Proceedings of the 79th student scientific and practical conference of the Rostov State Transport University]. Voronezh, 2020, part 1, pp. 72–74.

3. Kovtun P.V., Dubrovskaya T.A., Stryzhak A.I. Analiz osnovnykh tekhnicheskikh reshenii, napravlennykh na povyshenie skorosti dvizheniya poyezdov v Respublike Belarus' [Analysis of the main technical solutions aimed at increasing the speed of trains in the Republic of Belarus]. *Vestnik SGUPS* [Bulletin of the Siberian State Transport University], 2018, no. 2(61), pp. 16–23.

4. Kharina E.V. Vybór ratsional'nykh mer po povysheniyu skorosti dvizheniya passazhirskikh poyezdov v usloviyakh rastushchego ob'ema gruzovykh i passazhirskikh perevozok [The choice of rational measures to increase the speed of passenger trains in the face of a growing volume of freight and passenger traffic]. Ph.D.'s thesis. Moscow: MIIT, 2004. 24 p.

5. Lebid I., Kravchenya I., Dubrovskaya T., Luzhanska N. Identification of the railway reconstruction parameters at imposition of high speed traffic on the existing lines. *MATEC Web of Conferences*. 2019, vol. 294 (7), p. 05003.

6. Levin D.Yu. Optimizatsiya skorosti dvizheniya poyezdov [Optimization of train speed]. *Mir Transporta* [World of transport], 2021, vol. 19, no. 6(97), pp. 73–90.

7. Karasev S.V., Kalidova A.D. Metod ekspress-otsenki potrebnosti izmeneniya plana zheleznodorozhnykh linii skorostnogo dvizheniya [Method for express assessment of the need to change the plan of high-speed railway lines]. *Vestnik SGUPS* [Bulletin of the Siberian State Transport University], 2020, no. 2 (53), pp. 46–53.

8. Kalidova A.D. Analiz vozmozhnostei sovmeshcheniya skorostnogo i obychnogo dvizheniya s ispol'zovaniyem sushchestvu-yushchei infrastruktury [Analysis of the possibilities of combining high-speed and ordinary traffic using the existing infrastructure]. *Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Traditsionnaya i innovatsionnaya nauka : istoriya, sovremennoe sostoyanie, perspektivy»* [Proceedings of the International scientific-practical Conference «Traditional and innovative science: history, current state, prospects»]. Ufa, 2016, vol. 2, pp. 52–55.

9. Karasev S.V., Zarubina T. D. Osobennosti organizatsii skorostnogo dvizheniya s uchetom ispol'zovaniya imeyushchey-sya zheleznodorozhnoy infrastruktury [Features of the organization of high-speed traffic taking into account the use of the existing railway infrastructure]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Polytransportnye sistemy»* [Proceedings of the VIII International scientific-practical Conference «Polytransport systems»]. Novosibirsk, 2015, pp. 61–67.

10. Sovershenstvovanie konstruktssii skorostnogo puti (Elektronnyi resurs) [Improving the design of the high-speed track (Electronic resource)]. Available at: <http://eav.ru/publ1.php?publ1=2007-08a07> (Accessed September 1, 2022).

11. Kolos A.F., Kozlov I.S. Sovremennye konstruktssii verkhnego stroeniya puti dlya stroitel'stva skorostnykh i vysokoskorostnykh zheleznodorozhnykh linii [Modern designs of the upper structure of the track for the construction of high-speed and high-speed railway lines]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research], 2013, no. 2, pp. 16–21.

12. Dovgelyuk N.V., Akhramenko G.V., Tsarenkova I.M. Izyskaniya i proyektirovanie zheleznykh dorog [Research and design of railways]. Gomel': BelGUT Publ., 2013. 332 p.

13. SP 119.13330.2017 Zheleznye dorogi kolei 1520 mm. (s izmeneniem no 1 ot 24.12.2019) [Set of Rules no 119.13330.2017 Railway with 1520 mm track (with edit no 1 dated December 24, 2019)]. Moscow: Minstroj Publ., 2017. 41 p.

14. STP BCH 56.263-2013. Zheleznodorozhnye puti. Ustroistvo i ekspluatatsiya puti na uchastkakh obrashcheniya skorostnykh passazhirskikh poyezdov. [Railways. Arrangement and operation of the track in the areas of circulation of high-speed passenger trains]. Minsk: Ministerstvo transporta i kommunikatsii Respubliki Belarus' Publ., 2014. 286 p.

15. SNB 3.03.01-98. Zheleznye dorogi kolei 1520 mm [1520 mm gauge railways]. Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus' Publ., 1998. 26 p.

16. Postanovlenie Ministerstva transporta i kommunikatsii Respubliki Belarus' ot 25.11.2015 №52 «Ob utverzhdenii Pravil tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznoi dorogi v Respublike Belarus'» [Resolution No 52 of the Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus dated 25.11.2015 «On approval of the Rules of Technical Operation of the Railway in the Republic of Belarus»].

17. SP 237.1326000.2015. Infrastruktura zheleznodorozhnogo transporta. Obshchie trebovaniya [Set of Rules 237.1326000.2015. Railway transport infrastructure. General requirements]. Moscow: Standartinform Publ., 2015. 57 p.

18. Prikaz nachal'nika dorogi ot 28.04.2021 № 231N «Ob ustanovlenii skorosti dvizheniya poezdov na Belorusskoi zheleznoi doroge (s izmeneniyami i dopolneniyami)» [Order of the head of the road no 231N dated April 28, 2021 «On the establishment of train speeds on the Belarussian Railway (with changes and additions)»].

Информация об авторах

Ковтун Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; e-mail: sed@bsut.by.

Дубровская Татьяна Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; e-mail: rt-555@yandex.ru.

Information about the authors

Pavel V. Kovtun, Ph.D. in Engineering Science, Associate professor, Head of the Department of Design, Construction and Operation of Transport Facilities, Belarusian State University of Transport, Gomel; e-mail: sed@bsut.by.

Tatyana A. Dubrovskaya, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Design, Construction and Operation of Transport Facilities, Belarusian State University of Transport, Gomel; e-mail: rt-555@yandex.ru.