

Влияние параметров плана на устойчивость балластной призмы железнодорожного пути

М. М. Мыльников✉

Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ mmmynikov@ya.ru

Резюме

Устойчивость рельсошпальной решетки железнодорожного пути во многом зависит от условий эксплуатации. Часто на практике не удается содержать путь в условиях, предъявляемых нормативными требованиями. В этой связи природа поведения отдельных элементов пути под подвижными нагрузками остается неизученным вопросом. Для изучения механизма образования усилий в элементах верхнего строения пути при движущихся поездных нагрузках рассматривается действующий участок железнодорожной линии. По имеющейся проектной документации строится компьютерная модель перегона длиной около 11 км, которая отражает основные плановые проектные решения с учетом современных требований железнодорожного строительства. Осуществляется компьютерное моделирование нагружений от движущегося подвижного состава из пяти груженных полувагонов. Определяются величины поперечных сил на протяжении всего экспериментального участка с заданным шагом. По результатам моделирования определена зависимость возникающей поперечной силы от радиуса круговой кривой. Для второй серии экспериментов определено фактическое реальное положение рельсовых нитей в плане. Используются аэрофотоснимки высокой четкости, по которым построена цифровая модель железнодорожного пути на рассматриваемом экспериментальном участке. Положение оси пути аппроксимировано – подобраны такие параметры плана пути (радиусы кривых, длины прямых вставок, круговых и переходных кривых), которые наиболее близки к фактическому плановому положению пути. Определены значения точек, в которых путь отклоняется в плане от оси пути. Такие значения рихтовок определены на протяжении всего пути и внесены в компьютерную модель. Выполнено компьютерное моделирование нагружений подвижным составом с постоянной скоростью. По результатам эксперимента определены значения поперечных сил на контакте «колесо – рельс», выявлены зависимости возникающей поперечной силы от радиусов криволинейных участков с учетом фактических отступлений в плане.

Ключевые слова

железнодорожный путь, устойчивость пути, поперечные силы, вертикальные нагрузки, компьютерное моделирование, план пути

Для цитирования

Мыльников М. М. Влияние параметров плана на устойчивость балластной призмы железнодорожного пути // М. М. Мыльников // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 156–164. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).156-164

Информация о статье

поступила в редакцию: 09.11.2020, поступила после рецензирования: 22.11.2020, принята к публикации: 07.12.2020

The influence of parameters of the plan on the railways ballast section stability

М. М. Mylnikov✉

The Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, the Russian Federation

✉ mmmynikov@ya.ru

Abstract

The stability of the railway track depends by the operating conditions. Often, when in practice, it is not possible to maintain the track to the conditions imposed by regulatory requirements. In this regard, the behavior of some railway elements under moving loads remains an unstudied question. The operable section of the railway line has been considered to study the mechanism of force formation in the elements of the track upper structure under moving train loads. The computer model of a railway haul of about 11 km long is built according to the available design documentation. This model reflects the main planned design solutions, considering modern railway construction requirements. The computer simulation of loads from a moving rolling stock, consisting of five loaded gondola cars is performed. The values of transverse forces are determined throughout the entire experimental section with a given pitch. The dependence of the resulting transverse force on the radius of the circular curve has been determined according to the simulation results. For the second series of experiments, the actual position of the rails in the plan is determined.

High-definition aerial photographs are used to construct a digital model of the railway track for the experimental section under review. The position of the track axis is approximated. It means that the selected parameters of the track in the plan (radii of curves, lengths of straight inserts, circular and transition curves) are most close to the actual planimetric position of the track. The values of the points at which the track deviates from the track axis in the plan are determined. These straightening values are determined throughout the entire track and are entered into the computer model of the track. Computer simulation of rolling stock loads at a constant speed is performed. The values of the transverse forces at the “wheel – rail” contact were determined according to the results of the experiment. The dependences of the resulting transverse force on the radius of curved sections are revealed, considering the actual deviations in the plan.

Keywords

railway track, the track stability, transverse forces, vertical loads, computer simulation, track plan

For citation

Myl'nikov M. M. Vliyanie parametrov plana na ustoychivost' ballastnoi prizmy zheleznodorozhnogo puti [The influence of parameters of the plan on the railways ballast section stability]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 1 (69), pp. 156–164. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).156-164

Article Info

Received: 09.11.2020, Revised: 22.11.2020, Accepted: 07.12.2020

Введение

Стабильная и бесперебойная работа железнодорожного пути зависит от множества факторов, в том числе и от слаженности работы составляющих элементов пути. Балластный слой – одно из ключевых звеньев верхнего строения пути. В частности от работы балласта в конечном итоге зависит работа рельсошпальной решетки и, как следствие, пути в целом. Ключевая задача балластной призмы – обеспечение стабильного положения рельсовых нитей и перераспределение поездных нагрузок на нижнее строение пути. Стоит заметить, что величина воздействий, возникающих в элементах пути, будет зависеть не только от тяжести перевозимого груза, но и от условий эксплуатации пути. Однако действующая нормативная база, регулирующая эксплуатацию железной дороги, сформирована таким образом, что предъявляемые нормы справедливы для путей, находящихся в исправном состоянии и соответствующим требованиям Правил технической эксплуатации [1] и других действующих норм [2–4]. Величины отклонений от нормы, при которых допускается эксплуатация пути, регламентируются, но на практике оказывается, что к моменту очередного ремонта элемент пути становится полностью изношенным.

Такая ситуация складывается, например, с балластным слоем, когда к началу капитального ремонта пути щебень оказывается загрязнен почти полностью [5–8], при том, что допускаемая загрязненность по нормам составляет до 30 % [3]. Помимо внешних загрязнителей от перевозимых грузов щебень активно загрязняется от естественного износа. Отдельные зерна щебенки истираются, измельчаются на более мелкие фрагменты. Происходит процесс уменьшения фракции щебня, лежащего в пути [9]. Природа ослабления щебня формируется еще на стадии изготовления балластного материала, ввиду повсеместного использования добываемыми пред-

приятиями устаревших технологий производства работ [10]. Это приводит к тому, что в равной степени большая часть эксплуатируемого пути подвержена дополнительному фактору ослабления устойчивости. С другой стороны, действующими нормами, регулирующими применение балластного материала в железнодорожной отрасли [11], до сих пор не предъявляются твердые требования по несущей способности балластного материала [12]. Учитывая, что балласт в процессе эксплуатации находится под воздействием значительных вибродинамических нагрузок и при этом техническое состояние балластного материала отличается от нормативного – это осложняет прогнозирование стабильного состояния железнодорожного пути в целом.

Таким образом, имея ввиду, что путь может эксплуатироваться со значительными отклонениями от нормы, необходима проработка вопроса возникновения воздействий в элементах при состояниях пути, отличающихся от нормативных.

Воздействия в элементах пути

Работа пути и подвижного состава описывается «Методикой воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности». От поездных нагрузок в элементах верхнего строения пути образуются напряжения [13]. Величины допускаемых напряжений, при которых путь может работать стабильно, нормируются [14]. Если напряжения превышают допустимые нормы, то считается, что конструкция пути может претерпеть деформации. Нарушение конструкции в свою очередь может привести к крушениям и авариям. Возникновение напряжений в элементах пути происходит по причине воздействия на путь вертикальных и поперечных нагрузок от поездов. Наиболее опасными являются поперечные воздействия, поскольку они способствуют возникновению поперечного сдвига рельсошпальной решетки, что является прямой

угрозой безопасности движения поездов.

Сила, стремящаяся удержать рельсошпальную решетку в балласте, зависит от возможностей сопротивления шпалы о балластный материал (сила трения) и вертикальной нагрузки, прижимающей шпалу к балласту в вертикальной плоскости [15]. В свою очередь на сдвигающую силу будут влиять следующие факторы: скорость движения поезда, параметры плана линии (величина радиусов криволинейных участков пути), отступления в плане (неровности поверхности катания) [16]. Удерживающая сила – постоянная величина для конкретного экипажа и участка пути. Сдвигающая сила может варьироваться. При тяжелых условиях эксплуатации (кривые малых радиусов) или же при эксплуатации пути при условиях, отличающихся от нормативных, может произойти ситуация, когда величина сдвигающей силы превзойдет удерживающую и наступит момент потери устойчивости – крушение или авария. Для того чтобы избежать таких ситуаций необходимо иметь представление о том, каким образом в количественном исчислении влияет тот или иной фактор на величину сдвигающей силы.

Компьютерное моделирование поперечных усилий на контакте «колесо – рельс» для проектного плана линии

Для определения поперечных сил, возникающих в пути, выбран участок Южно-Уральской железной дороги (рис. 1), на котором в недавнем времени был выполнен капитальный ремонт пути.

Силы от прохода подвижного состава определялись в программном комплексе Универсальный механизм [17] (рис. 2). В качестве подвижной нагрузки

использовался экипаж из пяти груженых полувагонов. Измерялись суммарные поперечные нагрузки на первой колесной паре. Время и шаг моделирования задавались из расчета получения измерений каждые 5–10 см пути, т. е. с достаточно высокой точностью.

Порядок проведения эксперимента по компьютерному моделированию поперечных нагрузок в контакте «колесо – рельс» был следующим. На первом этапе была поставлена цель – определить нагрузки для пути, находящегося в исходном нормативном состоянии, том, которое было предусмотрено проектными решениями. Для этого была проанализирована проектная документация рассматриваемого участка, а именно, рассмотрен проектный план пути. Величины прямых участков и параметров кривых участков пути были оформлены в модель макрогеометрии пути.

Суммарная длина участка составила 10 595 м. На участке имелось восемь круговых кривых, одна из которых была составная из трех радиусов, и девяти прямых. Радиусы кривых варьировались от 630 м до 2 200 м. Прямые вставки в отдельных случаях составляли 82 м, но как правило были более 300 м. Влияние значений отметок продольного профиля не рассматривалось, таким образом моделировалась ситуация движения по площадке, однако проектные возвышения наружного рельса при необходимости учитывались. Скорость подвижного состава задавалась постоянной и составляла 60 км/ч. Полученные значения поперечных сил на протяжении участка моделирования показаны (рис. 3).

Закономерно увеличивается величина поперечной силы при движении экипажа по кривой. На гра-

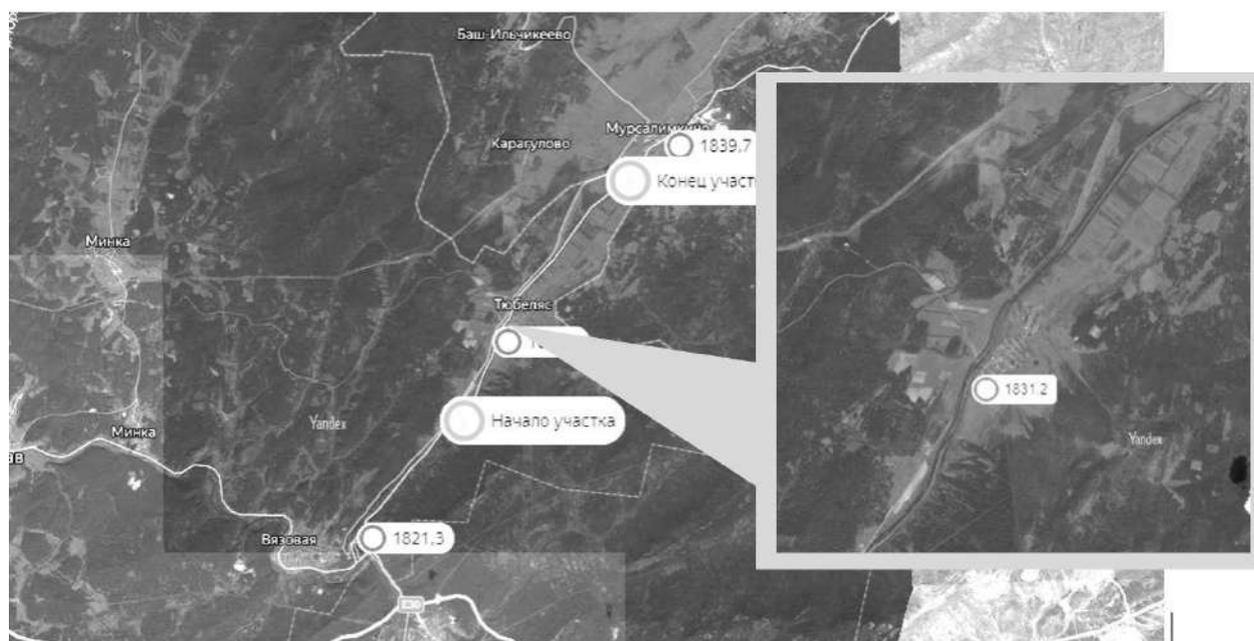


Рис. 1. Экспериментальный участок
Fig. 1. Experimental area

фике заметно, что величина силы коррелирует с величиной радиуса кривого участка. Для более детального анализа приведена зависимость возникающей поперечной силы от радиуса криволинейного участка пути (рис. 4).

Из рисунка видно, что величина отношения значения поперечной силы от радиуса составляет порядка 4,7. Это означает, что уменьшение радиуса

кривой на каждые 100 м приводит к увеличению поперечного усилия, возникающего в элементах пути до 0,47 кН, что усугубляет возможность пути препятствовать внешним нагрузкам. В дальнейшем ставилась цель сравнить полученные проектные значения возникающих усилий с теми, которые фактически образуются в пути в момент эксплуатации.

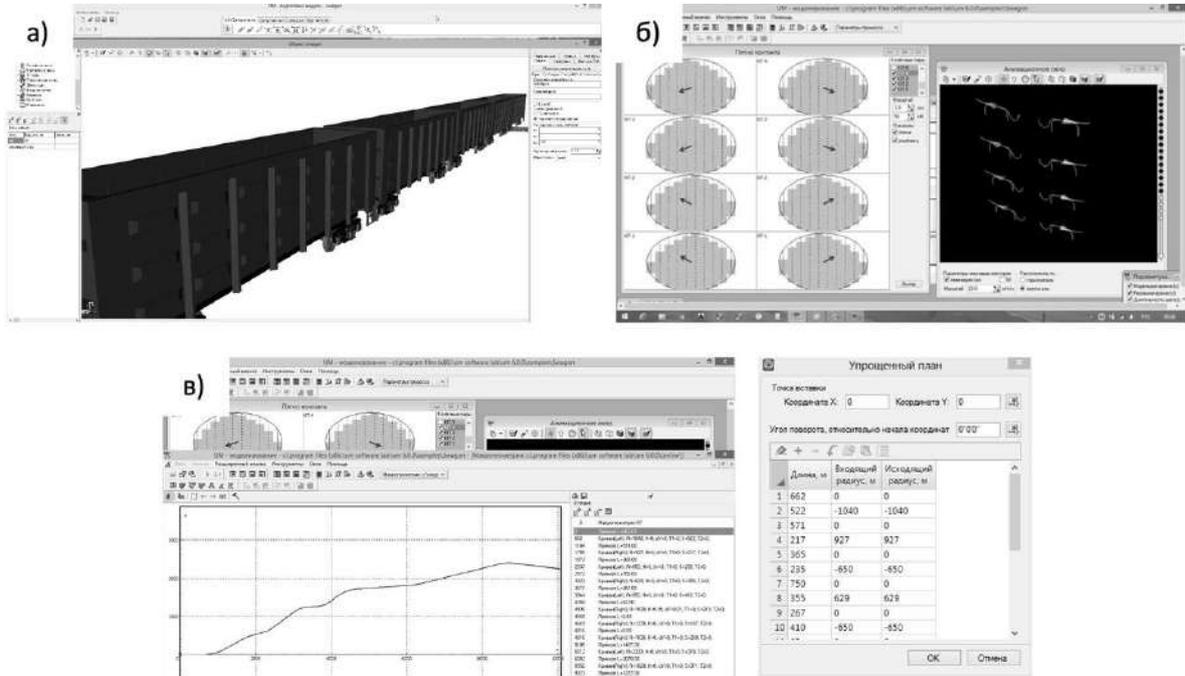


Рис. 2. Компьютерное моделирование:

a – модель подвижного состава; б – макрогеометрия пути; в – силы на контакте «колесо – рельс»

Fig. 2. Computer simulation:

a – rolling stock model; b – track macrogeometry; c – “wheel – rail” contact forces

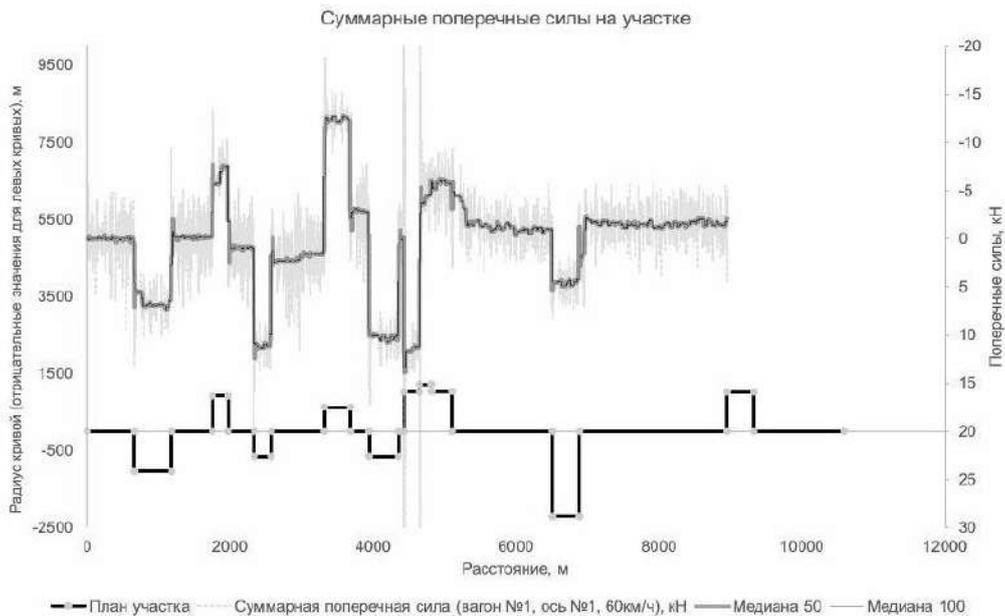


Рис. 3. Значения поперечных сил первого этапа эксперимента (проектный план)

Fig. 3. Values of the transverse forces of the first stage of the experiment (project plan)

Компьютерное моделирование поперечных усилий на контакте «колесо – рельс» при фактическом состоянии пути

Для второй серии экспериментов необходимо было определить фактические значения положения рельсошпальной решетки в плане. Для этого для рассматриваемого участка получены аэрокосмические снимки высокой четкости (рис. 5). Разрешение

снимков позволяло определить отдельные элементы пути, а значит и построить цифровую модель пути по рельсовым нитям. Для решение этой задачи был использован программный комплекс «Топоматик Робит – Железные дороги» [18]. Путем аппроксимации фактического планового положения рельсов (рис. 6) определены параметры плана пути: длины прямых вставок и характеристики криволинейных

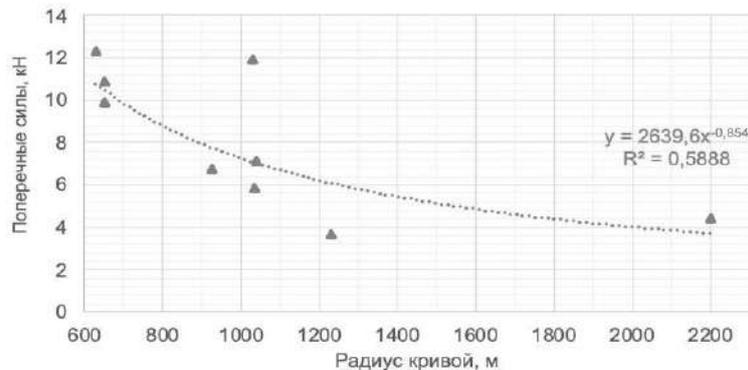


Рис. 4. Зависимость возникающей поперечной силы от радиуса кривой (проектный план)

Fig. 4. Dependence of the resulting transverse force by the radius of the curve (project plan)



Рис. 5. Фрагмент аэрофотоснимка высокой четкости экспериментального участка

Fig. 5. Fragment of a high-definition aerial photo of the experimental area

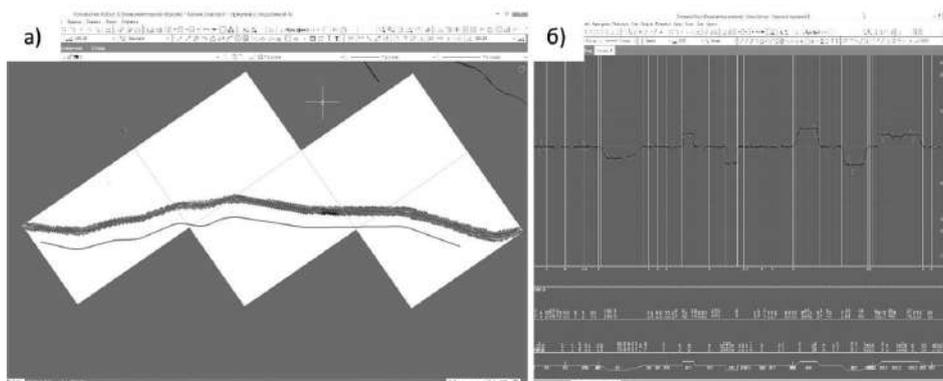


Рис. 6. Обработка данных фактического плана экспериментального участка:

a – аппроксимация планового положения рельсошпальной решетки; *b* – определение рихтовок пути

Fig. 6. Processing of the data of the actual plan of the experimental section:

a – approximation of the planimetric position of the rail-sleeper grid;

b – determination of the alignment of the track

участков: уточнены величины радиусов и длин переходных кривых. Так величины отклонения радиусов от проектных значений в отдельных случаях составляют 100–200 м, но в среднем не превышают 50 м. Также были определены величины рихтовок – величины отклонения рельсовых нитей в плане. Рихтовки были отмечены в характерных точках – в наиболее удаленных от проектной оси местах.

По результатам анализа участка были составлены ведомости элементов плана, а также ведомость рихтовок. Полученные значения использовались для уточнения исходных данных компьютерного моделирования, а именно, параметры плана участка моделирования стали соответствовать фактическому

положению рельсошпальной решетки на участке. Рихтовки в свою очередь были указаны в разделе неровности параметров интегрирования модели пути. Далее было произведено моделирование прохода по участку подвижного состава с параметрами скорости и нагрузки как при первом эксперименте. Результаты колебания поперечных усилий представлены (рис. 7), показаны полученные зависимости возникающей поперечной силы от радиуса криволинейного участка пути (рис. 8).

Детальное сравнение значений возникающей поперечной силы от нагрузки подвижного состава на отдельных элементах экспериментального участка показывает, что при пути с неисправностями значе-

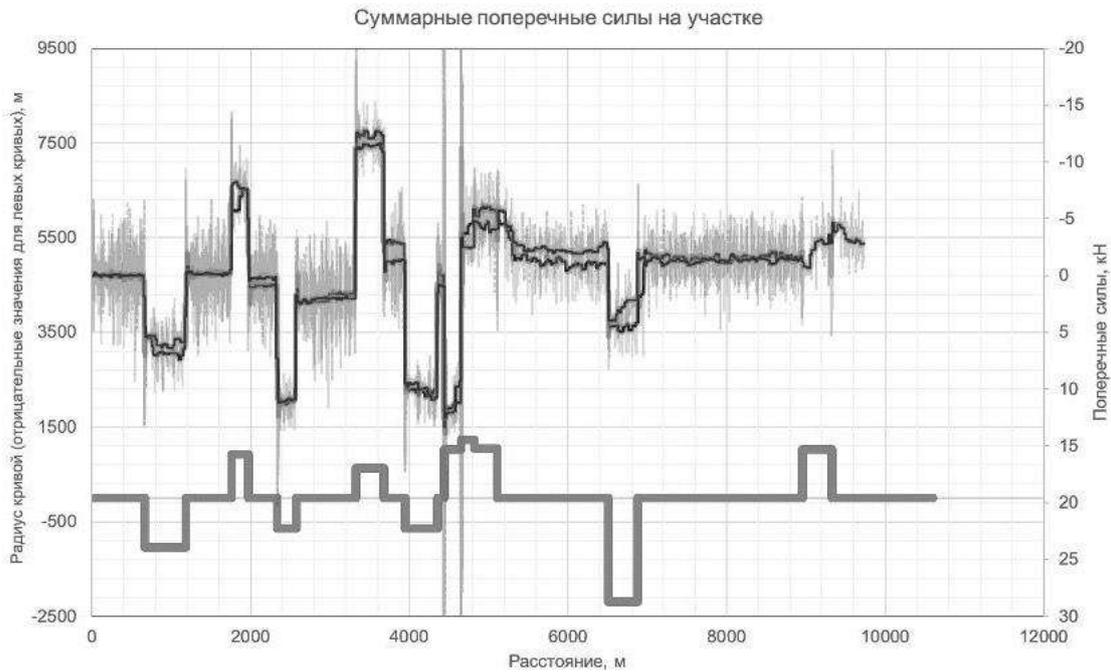


Рис. 7. Значения поперечных сил первого этапа эксперимента (фактический план)

Fig. 7. Values of the transverse forces of the first stage of the experiment (actual plan)

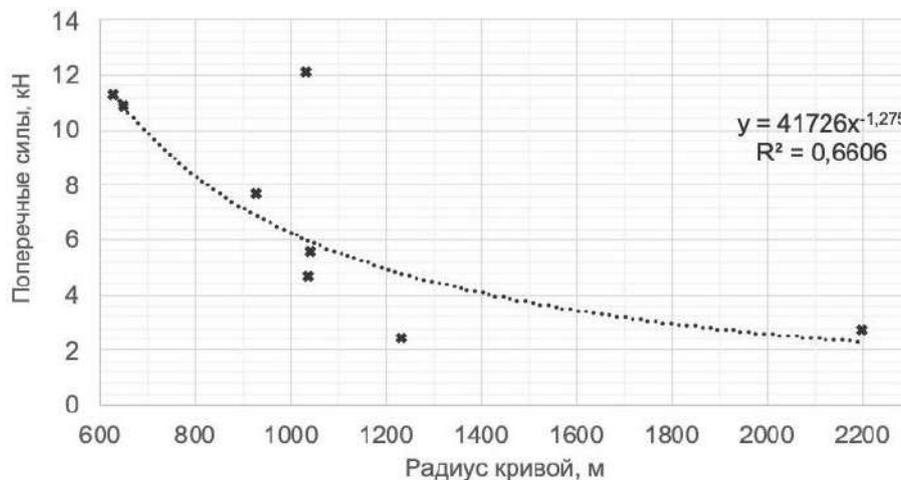


Рис. 8. Зависимость возникающей поперечной силы от радиуса кривой (фактический план)

Fig. 8. Dependence of the resulting transverse force by the radius of the curve (actual plan)

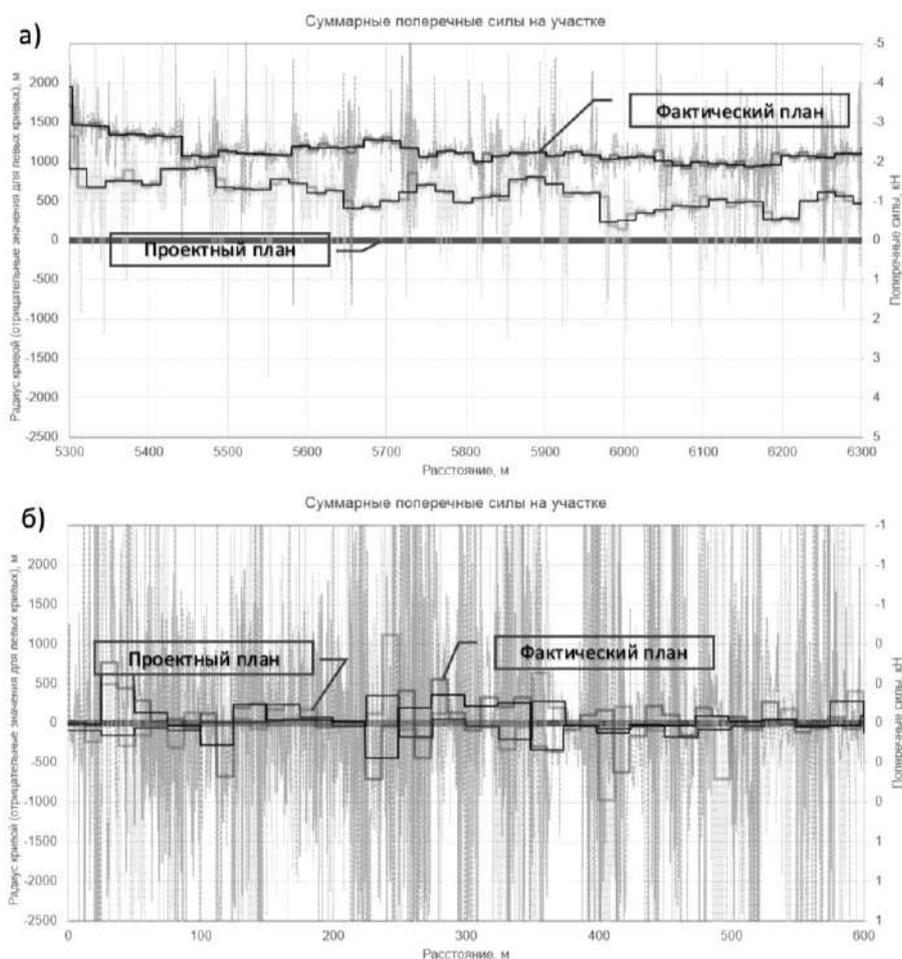


Рис. 9. Сравнение поперечных сил при проектном и фактическом плане пути:

а – участок ПК 53+00 – ПК 63+00; *б* – участок ПК 0+00 – ПК 6+00

Fig. 9. Comparison of transverse forces in the design and actual track plan:

a – section PK 53+00 – PK 63+00; *b* – section PK 0+00 – PK 6+00

ние сдвигающей поперечной силы может значительно увеличиваться (рис. 9). Так на прямом участке ПК 0+00 – ПК 6+00 значение поперечной силы на пути с отступлениями в плане составляет 115 % по сравнению со значениями пути при проектном положении рельсовых нитей, а на участке ПК 53+00 – ПК 63+00 это расхождение достигает уже 190 %. В криволинейных участках пути тенденция такова, что при уменьшении радиуса пути как правило значение поперечной силы увеличивается.

Заключение

Создание условий для обеспечения устойчивости пути как способности бесперебойно воспринимать поездные нагрузки и перерабатывать их – важная эксплуатационная задача, которая на практике не всегда может быть решена вовремя. Конечно, при проектировании элементов пути учитываются риски возможных маловероятных исходов, путем заклады-

вания различных повышающих коэффициентов запаса. Тем не менее понимание природы возникновения таких рисков, т.е. факторов усугубляющих эксплуатационное состояние элементов пути – позволит снизить неопределенность в вопросе поперечной устойчивости пути, что может не только положительно сказаться на стабильной работе пути, но и создать предпосылки для снижения эксплуатационных расходов на его содержание.

Полученные зависимости возникающих поперечных сил от внешних нагрузок подвижного состава, зависящих от параметров плана пути, – первый шаг к пониманию природы возникновения боковых усилий при отягчающих, но естественных обстоятельствах эксплуатации, таких как рихтовка. Автор продолжает работу в данном направлении с целью рассмотрения более полного спектра скоростей обращения подвижного состава и исследования криволинейных участков с другими параметрами плана пути.

Список литературы

1. Приказ Минтранса России «Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (с изменениями на 9 февраля 2018 года)» от 21 декабря 2010 г. № 286 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2011 г. № 12. с изм. и допол. в ред. от 25 декабря 2018 г.
2. СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь // cntd.ru: профессиональные справочные системы «Техэксперт» URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124323> (дата обращения: 09.03.2021).
3. Распоряжение ОАО «РЖД» «Об утверждении и введении в действие Положения о системе ведения путевого хозяйства ОАО «РЖД» от 31 декабря 2015 № 3212р // Документ опубликован не был.
4. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.12.2016 N 2544р «Об утверждении и введении в действие Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути» // Документ опубликован не был.
5. Скутин А.И., Мылников М.М. О качестве щебня в балластной призме железных дорог // РСП Эксперт. 2018. №6-7 (110-111). С. 30–31.
6. Макагонов Р.А., Цигипов А.Д. Оценка загрязненности балласта на путях 3–4 класса // Современные наукоёмкие инновационные технологии. Уфа: АЭТЕРНА, 2018. С. 76–79.
7. Абрашитов А.А., Зайцев А.А., Семак А.В., Шаврин Л.А. Оценка источников загрязнения балластного слоя из гранитного щебня и моделирование разрушения и истирания ча-стиц щебня при динамическом нагружении // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути. М.: 2017. С. 184–187.
8. Anbazhagan P., Bharatha T.P., Amarajeevi G. Study of Ballast Fouling in Railway Track Formations // Indian Geotechnical Journal. 2012. № 2. С. 87–99.
9. Железнодорожный путь: учебник / Е.С. Ашпиз, А.И. Гасанов, Б.Э. Глюзберг и др.; под ред. Е.С. Ашпиза. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. 544 с.
10. Скутин А.И. О качестве щебня, применяемого в транспортном строительстве // Инновационный транспорт. 2019. № 1(31). С. 25–28.
11. ГОСТ «Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия» от 09 июля 2015 № 7392-2014 // Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2015 г.
12. Колос А.Ф., Осипов Г.В., Клищ С.А., Леус А.С., Каминный О.А. Исследование прочностных свойств щебня, применяемого для балластного слоя железнодорожного пути // Научные исследования: ключевые проблемы III тысячелетия. М.: Проблемы науки, 2018.
13. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. трансп./ В.В. Виноградов, А.М. Никонов, Т.Г. Яковлева и др.; под ред. В.В. Виноградова и А.М. Никонова. М.: Маршрут, 2003. 486 с.
14. ЦПТ-52/14 Методика оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности, утвержденная МПС России 16 июня 2000 г.
15. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпушенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря, С.П. Смирнов; под ред. Т.Г. Яковлевой. М.: Транспорт. 1999. 405 с.
16. Железнодорожный путь: учебник для студентов и аспирантов вузов железнодорожного транспорта / Г.М. Шахунянц. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 479 с.
17. Манчестерские тесты для моделирования рельсовых экипажей // umlab.ru: Программный комплекс Универсальный механизм (UM). URL: <http://www.umlab.ru/download/docs/rus/part10.pdf> (дата обращения: 09.03.2021).
18. Сертификат соответствия № RA.RU.AB86.H001126 «Топоматик Robur – Железные дороги» от 19 сентября 2020 г.

References

1. Prikaz Mintransa Rossii «Ob utverzhdanii Pravil tekhnicheskoi ekspluatatsii zheleznykh dorog Rossiiskoi Federatsii (s izmeneniyami na 9 fevralya 2018 goda)» ot 21 dekabrya 2010 g. No. 286 [The order of the Ministry of Transport of the Russian Federation “On Approval of the Rules of Technical Operation of Railways of the Russian Federation (as amended on February 9, 2018)” dated December 21, 2010 No. 286] // *Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noi vlasti. 2011 g. No. 12. s izm. i dopol. v red. ot 25 dekabrya 2018 g.* [*Bulletin of normative Acts of federal executive bodies, 2011, No. 12 with amendments and additions from December 25, 2018*].
2. SP 238.1326000.2015 Zheleznodorozhnyi put' // cntd.ru: professional'nye spravochnye sistemy «Tekhekspert» [SP 238.1326000.2015 Railway track. Cntd.ru: professional reference systems “Techexpert”] [Electronic media]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124323> (Accessed: March 09, 2021).
3. Rasporyazhenie OAO «RZhD» «Ob utverzhdanii i vvedenii v deistvie Polozheniya o sisteme vedeniya putevogo khozyaistva OAO «RZhD» ot 31 dekabrya 2015 No. 3212r / [The order of “Russian Railways” OAO “On approval and introduction of the Regulation on the system of track management of “Russian Railways” OAO dated December 31, 2015 No. 3212r]. The document was not published.
4. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 14.12.2016 N 2544r «Ob utverzhdanii i vvedenii v deistvie Instruksii po ustroystvu, ukladke, soderzhaniyu i remontu besstykovogo puti» [The order of «Russian Railways” OAO of 14.12.2016 N 2544r “On the approval and introduction of the Instructions for the device, laying, maintenance and repair of the joint-free track”]. The document was not published.
5. Skutin A.I., Myl'nikov M.M. O kachestve shchebnya v ballastnoi prizme zheleznykh dorog [On the quality of crushed stone in the ballast prism of railways]. *RSP Ekspert [The RSP Expert]*, 2018. No. 6-7 (110-111), pp. 30–31.
6. Makagonov R.A., Tsigipov A.D. Otsenka zagryaznennosti ballasta na putyakh 3–4 klassa [Assessment of ballast pollution on the paths of 3-4 classes] // *Sovremennye naukoemkie innovatsionnye tekhnologii [Modern science-intensive innovative technologies]*. Ufa: AETERNA Publ., 2018. Pp. 76–79.

7. Abrosimov A.A., Zaitsev A.A., Semak, V.A., Shavrin L.A. Otsenka istochnikov zagryazneniya ballastnogo sloya iz granitnogo shchebnaya i modelirovanie razrusheniya i istiraniya chastits shchebnaya pri dinamicheskom nagruzhenii [Evaluation of sources of contamination of the ballast layer of crushed granite and simulation of fracture and abrasion of particles of crushed rock under dynamic loading] // *Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti* [Modern problems of design, construction and operation of railway journey]. Moscow: 2017. Pp. 184–187.
8. Anbazhagan P., Bharatha T.P., Amarajeevi G. Study Fouling of Ballast in Railway Track Formations // *Indian Geotechnical Journal*, 2012. No. 2. Pp. 87–99.
9. Ashpiz E.S., Khasanov A.I., Gluzberg B.E. et al.; Zheleznodorozhnyi put': uchebnik [Railway track: a textbook]. In Ashpiz E.S. (ed.) Moscow: FGBOU "Training centre for education in railway transport" Publ., 2013. 544 p.
10. Skutin A.I. O kachestve shchebnaya, primenyaemogo v transportnom stroitel'stve [On the quality of crushed stone used in transport construction] // *Innovatsionnyi transport* [Innovative transport], 2019. No. 1(31), pp. 25–28.
11. GOST «Shcheben' iz plotnykh gornykh porod dlya ballastnogo sloya zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie usloviya» ot 09 iyulya 2015 No. 7392-2014 // Ofitsial'noe izdanie [GOST "Crushed stone from dense rocks for the ballast layer of the railway track. Technical conditions" dated July 09, 2015 No. 7392-2014. Official publication]. Moscow: Standartinform Publ., 2015.
12. Kolos A.F., Osipov G.V., Klishch S.A., Leus A.S., Kaminyk O.A. Issledovanie prochnostnykh svoystv shchebnaya, primenyaemogo dlya ballastnogo sloya zheleznodorozhnogo puti [Investigation of the strength properties of crushed stone used for the ballast layer of the railway track] // *Nauchnye issledovaniya: klyuchevye problemy III tysyacheletiya* [Scientific research: key problems of the III millennium]. Moscow: Problemy nauki Publ., 2018.
13. Vinogradov V.V., Nikonov A.M., Yakovleva T.G. et al. Raschet i proektirovanie zheleznodorozhnogo puti: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov zh.-d. transp. [Calculations and design of the railway track: a textbook for railway transport university students]. In Vinogradov V.V. and Nikonov A.M. (eds.) Moscow: Marshrut Publ., 2003. 486 p.
14. TsPT-52/14 Metodika otsenki vozdetsviya podvizhnogo sostava na put' po usloviyam obespecheniya ego nadezhnosti, utverzhennaya MPS Rossii 16 iyunya 2000 g. [TSPT-52/14 A methodology for assessing the impact of rolling stock on the track according to the conditions for ensuring its reliability, approved by the Ministry of Transport of Russia on June 16, 2000].
15. Yakovleva T.G., Karpushchenko N.I., Klinov S.I., Putrya N.N. et al. Zheleznodorozhnyi put' [The railway track]. In Yakovlev T.G. (ed.) Moscow: Transport Publ., 1999. 405 p.
16. Shakhunyan G.M. Zheleznodorozhnyi put': uchebnik dlya studentov i aspirantov vuzov zheleznodorozhnogo transporta. Izd. 3-e, pererab. i dop. [The railway track: a textbook for students and postgraduates of railway transport universities. Third edition, revised and enlarged]. Moscow: Transport Publ., 1987. 479 p.
17. Manchesterskie testy dlya modelirovaniya rel'sovykh ekipazhei. Umlab.ru: Programmnyi kompleks Universal'nyi mekhanizm (UM). [Manchester tests for modeling rail crews. Umlab.ru: Universal Mechanism (UM) Software Package [Electronic media]. URL: <http://www.umlabor.ru/download/docs/rus/part10.pdf> (Accessed: March 09, 2021).
18. Sertifikat sootvetstviya No. RA.RU.AB86.N001126 «Topomatik Robur – Zheleznye dorogi» ot 19 sentyabrya 2020 g. [A certificate of conformity No. RA. RU. AB86. N001126 "Topomatik Robur – Railways" dated September 19, 2020].

Информация об авторах

Мыльников Максим Михайлович – аспирант кафедры пути и железнодорожного строительства, Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, e-mail: mmmynikov@ya.ru

Information about the authors

Maksim M. Myl'nikov – Ph.D. student of the Subdepartment of Road and Railway Construction, the Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, the Russian Federation, e-mail: mmmynikov@ya.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).164-169

УДК 656.222.4

Организация планирования диспетчерской работы на участках с подталкивающим движением

М. Н. Еременко, А. Д. Доможирова, Р. Ю. Упырь ✉

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ upyry.roman@gmail.com

Резюме

В статье описывается результат изучения проблемы планирования поездной работы на участках, имеющих горно-перевальный характер пути с использованием подталкивающей либо кратной тяги. Большинство действующих железнодорожных линий было спроектировано еще в конце XIX в. По ряду причин такие линии имеют сложный профиль пути и требуют дополнительных тяговых ресурсов. Рассматривается горно-перевальный участок железной дороги, количество локомотивов, а также локомотивных бригад подталкивающего движения, задействованных на данном участке. Для организации движения поездов дежурно-диспетчерским персоналом применяются различные приемы регулирования. В данной работе исследуется прием подвода поездопотока к техническим станциям в отношении экстраполяции на участки с подталкиванием. Определены формулы времени, которое затрачивают локомотивные бригады на станции постановки «толкачей», проанализированы их составляющие и выделено ключевое значение, на которое необходимо делать упор при планировании поездной работы на участках с подталкивающим движением. Установлены границы оптимальных участков планирования подвода поездопотока к станции постановки толкачей для достижения наиболее эф-