



Информация об авторах

Бушуев Николай Сергеевич – к. т. н., доцент, профессор кафедры изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: 2009bushuev@rambler.ru.

Шкурников Сергей Васильевич – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: 3123810@mail.ru.

Герасимов Василий Анатольевич – к. т. н., первый заместитель генерального директора АО «ГИПРОТРАНСПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, e-mail: vagerasimov@yandex.ru.

Голубцов Владимир Анатольевич – старший преподаватель кафедры изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: kipjd@pgups.edu.

Морозова Ольга Сергеевна – аспирант кафедры изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: olya.morozova51@gmail.com.

Authors

Nikolai Sergeevich Bushuev – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Prof. of the Subdepartment of Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: 2009bushuev@rambler.ru.

Sergei Vasil'evich Shkurnikov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Subdepartment of Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: 3123810@mail.ru.

Vasilii Anatol'evich Gerasimov – Ph.D. in Engineering Science, the First Deputy of General Director of "GIPROTRANSPROEKT" OOO, St. Petersburg, e-mail: vagerasimov@yandex.ru.

Vladimir Anatol'evich Golubtsov – Asst. Prof. at the Subdepartment of the Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: kipjd@pgups.edu.

Olga Sergeevna Morozova – Ph.D. student at the Subdepartment of Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: olya.morozova51@gmail.com.

Для цитирования

Бушуев Н. С. Особенности проектирования трассы железной дороги в условиях вечной мерзлоты / Н. С. Бушуев, С. В. Шкурников, В. А. Герасимов, В. А. Голубцов, О. С. Морозова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 135–142. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).135–142

For citation

Bushuev N. S., Shkurnikov S. V., Gerasimov V. A., Golubtsov V. A., Morozova O. S. Osobennosti proektirovaniya trassy zheleznoi dorogi v usloviyakh vechnoi merzloty [Design aspects of railway lines in permafrost conditions]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 135–142. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).135–142

УДК 625.113

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).142–148

А.И. Богданов

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

Дата поступления: 22 апреля 2019 г.

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНА И ПРОФИЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В статье описывается общая модель плана и продольного профиля трассы как новых, так и реконструируемых железных дорог и общая модель критерия эффективности. Модель плана и продольного профиля разработана на основе кусочно-линейных функций, которые задаются координатами своих вершин. Кусочно-ломаными линиями в моделях профиля новых и реконструируемых железных дорог являются профиль земли и профиль существующей головки рельса. В качестве кусочно-ломанных линий в модели плана приняты угловые диаграммы новой и реконструируемой линии. Модель критерия эффективности разработана в виде минимума профильного объема земляных работ, который аналогичен критерию минимума суммы квадратов, применяемого в задачах аппроксимации. Разработаны способы расчета профильного объема земляных работ как при проектировании продольного профиля, так и плана новых и реконструируемых железных дорог. На основе общих моделей плана и профиля и критерия эффективности разработан общий метод автоматизированного проектирования плана и профиля новых и реконструируемых железных дорог. Общий метод разработан на основе синтеза формализованных основных принципов и закономерностей классической теории трассирования, принципа декомпозиции сложных систем и многофакторного анализа. Декомпозиция сложных систем позволяет исключить трудности проектирования плана и профиля, обусловленные наличием пред- и после истории. Многофакторный анализ позволяет построить метод проектирования аналогичный традиционным классическим методам. Классическая теория трассирования, выработанная и проверенная более 180-летней практикой проектирования железных дорог, представляет собой метод оптимального проектирования плана и профиля трассы новых и реконструируемых железных дорог и вторых путей.

Ключевые слова: аппроксимация, продольный профиль, новые и реконструируемые железные дороги, кусочно-линейные функции, критерий эффективности, декомпозиция сложных систем, многофакторный анализ, автоматизированное проектирование.



A. I. Bogdanov

Far East State university of means of communication, Khabarovsk, Russian Federation
Received: April 22, 2019

THE GENERAL PLAN AND PROFILE MODEL FOR THE AUTOMATED DESIGNING OF NEW AND RECONSTRUCTED RAILWAYS

Abstract. The article describes the general model of the plan and a longitudinal profile of a line of both new and reconstructed railways, and the general model of efficiency criterion. The model of the plan and a longitudinal profile is developed on the basis of piecewise-linear functions which are set by coordinates of their tops. Piecewise-polygonal lines in models of a profile of the new and reconstructed railways are the profile of the ground and a profile of an existing head of a rail (ERH). Angular diagrams of a new and reconstructed line are accepted as piecewise-polygonal lines in the model plan. The model of efficiency criterion is developed as a minimum of profile volume of excavations which is similar to criterion of a minimum of the sum of the squares, applied in approximation problems. Ways to calculate the profile volume of excavations have been developed at designing both the longitudinal profile and the plan of the new and reconstructed railways. On the basis of the general models of the plan and profile and the efficiency criterion, the general method of the automated designing of the plan and a profile of the new and reconstructed railways has been developed. The general method is developed on the basis of synthesis of the formalized main principles and laws of the classical route tracing theory, a principle of decomposition of complex systems and the multifactorial analysis. Decomposition of complex systems allows excluding difficulties in designing the plan and profile, caused by presence of history before and after. The multifactorial analysis makes it possible to construct a designing method similar to the traditional classical designing method. The classical theory of the route tracing, developed and proven by more than 180-year-old practice of railway designing, is a method of optimum designing of the plan and profile of a line of the new and reconstructed railways and the secondary tracks.

Keywords: approximation, plan, longitudinal profile, new and reconstructed railways, piecewise-linear functions, efficiency criterion, decomposition of complex systems, multifactorial analysis, automated designing.

Введение

Автоматизацией проектирования плана и продольного профиля как новых, так и реконструируемых железных дорог занимаются в России и зарубежом с 1950-х гг. К настоящему времени создано большое количество разнотипных моделей и соответствующих методов автоматизированного проектирования, большая часть из которых основана на методах математического программирования. Основной трудностью применения методов математического программирования для автоматизации проектирования плана и продольного профиля как новых, так и реконструируемых железных дорог является неопределенная размерность задачи [1, 2]. Поэтому, разработка модели и метода автоматизированного проектирования плана и профиля новых и реконструируемых железных дорог на основе анализа и синтеза классической теории проектирования железных дорог является весьма актуальной [3–6].

Математическая модель плана и профиля новых и эксплуатируемых железных дорог

Проектирование плана и продольного профиля трассы как новых, так и реконструируемых железных дорог анализируются в статье как задачи линейной аппроксимации. При этом исходные линии (магистральный ход и профиль земли для новых железных дорог, план и профиль суще-

ствующей головки рельса (СГР) – для эксплуатируемых) будем считать аппроксимируемыми, а проектные линии (планы и профили трасс новой и эксплуатируемой железных дорог) аппроксимируемыми.

Профили земли и СГР, соответственно, трассы новой и реконструируемой линий, а также магистральный ход представляют собой кусочно-ломанные линии. Планы трасс новой и реконструируемой железных дорог представляют собой семейство прямых и кривых второго и третьего порядков. При проектировании плана трассы новых и реконструируемых железных дорог на ранних стадиях (технико-экономическое обоснование (ТЭО), проект) можно ограничиться представлением плана только лишь прямыми и круговыми кривыми (кривыми второго порядка) и не учитывать переходные кривые (кривые третьего порядка), но необходимо обеспечивать возможность их устройства за счет проектирования прямых и круговых кривых достаточной длины:

$$L_{\min} = 0,5(l_1 + l_2) + l_{\min}.$$

где l_1, l_2 – соответственно длина первой и второй переходной кривой по концам элемента плана (прямой или круговой кривой); l_{\min} – минимальная длина прямой или круговой кривой между концами переходных кривых.



Тогда планы трасс новой и реконструируемой железных дорог можно представить так же, как и их продольные профили, т. е. кусочно-ломаной линией – угловой диаграммой, соответственно для прямых и круговых кривых:

$$\alpha(K) = 0, \\ \alpha(K) = K/R.$$

Математическая модель кусочно-линейных функций может быть представлена одним из известных способов, например, множеством координат своих вершин. Исходные (аппроксимируемые) линии задаются множеством координат своих вершин:

$$C = \{Sc(i), Zc(i)\}, \quad i \in 1, N,$$

где $Sc(i)$ – пикетаж i -точки исходной линии; $Zc(i)$ – аппликата i -точки исходной линии; N – число вершин исходной линии.

Проектные (аппроксимирующие) линии также задаются множеством координат своих вершин:

$$P = \{Sp(j), Zp(j)\}, \quad j \in 1, M,$$

где $Sp(j)$ – пикетаж j -точки (перелома) проектной линии; $Zp(j)$ – аппликата j -точки проектной линии; M – число вершин (переломов) проектной линии.

Ограничения накладываются СП [7] как непосредственно на координаты проектной линии (главным образом на аппликаты), так и на их производные. Одним из основных и общим ограничением при проектировании как плана, так и продольного профиля трасс новых и реконструируемых железных дорог является ограничение на уклон (кривизну) элементов профиля (плана) (рис. 1):

$$(Z_p(j+1) - Z_p(j)) / (S_p(j+1) - S_p(j)) \in (i_{\max}, i_{\min}) \cup (\rho_{\max}, \rho_{\min}),$$

где $Z_p(j+1), Z_p(j)$ – аппликаты начала и конца j -элемента плана или профиля; $S_p(j+1), S_p(j)$ – пикетаж начала и конца j -элемента плана или профиля; $i_{\max}, i_{\min} (\rho_{\max}, \rho_{\min})$ – соответственно максимальные и минимальные значения уклонов или кривизны элементов плана или профиля.

Минимальное значение уклона элемента профиля трассы (i_{\min}) принимается из условия обеспечения водоотвода вдоль земляного полотна и равно 2 ‰. Величина уклона, равная 0 принимается для разделительных площадок, для элементов в выемках длиной до 400 м и элементов в пределах площадок отдельных пунктов.

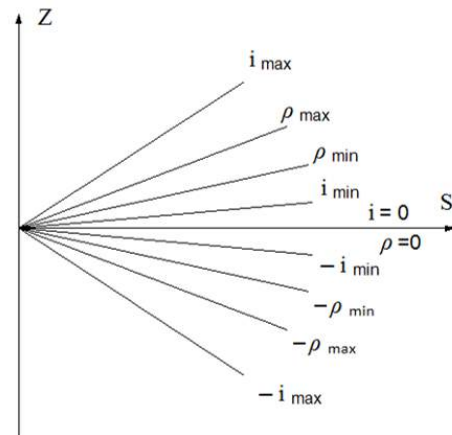


Рис. 1. Ограничения на уклон и кривизну элементов

Аналогично минимальное значение кривизны элемента плана определяется значением R_{\max} и равно

$$\rho_{\min} = 1/R_{\max}.$$

Значение кривизны элемента равно 0 соответствует прямым.

Другим ограничением, накладываемым СП [7] на план и профиль трассы как новых, так и реконструируемых железных дорог, является ограничения на рабочие отметки.

При проектировании продольного профиля трассы новой или реконструируемой железных дорог ограничения на рабочие отметки в какой-либо точке задаются в явном виде [8, 9]:

$$Z(j) \leq Z_{\text{орп}}(k),$$

где $Z(j) = Z_p(j) - Z_c(j)$ – рабочая отметка в j -точке профиля; $Z_p(j), Z_c(j)$ – соответственно аппликаты проектной и исходной линии в j -точке.

При проектировании плана трассы новой или реконструируемой железных дорог, ограничения на сдвиги, задаваемые, например, по концам элементов плана, аналогичны ограничениям на рабочие отметки в переломах профиля [10]. Действительно, пусть элемент исходной (аппроксимируемой) кусочно-ломаной линии имеет кривизну $\rho > \rho_{\max}$ (рис. 2).

Тогда, из условия рационального положения элемента аппроксимирующей линии с величиной кривизны $\rho_p = \rho_{\max}$, проектная величина аппликаты $\alpha_p(j)$ в j -точке будет равна

$$\alpha_p(j) = (2\omega_e - \rho_p K^2(j)) / 2K(j), \quad (1)$$

где ω_e – площадь угловой диаграммы в пределах j -элемента существующего плана; $\rho_p, K(j)$ – соответственно кривизна и длина j -элемента плана.

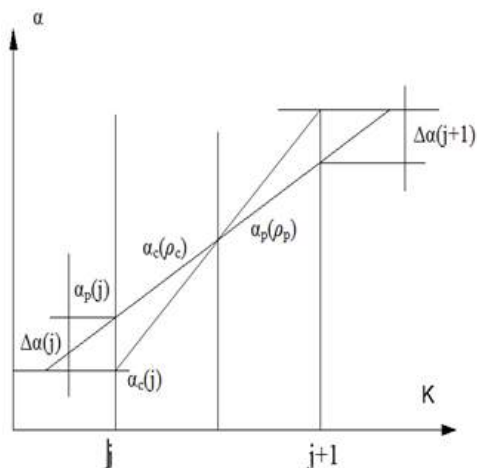


Рис. 2. К расчету ограничений на план трассы

Равенство (1), соответствующее рациональному положению элемента проектного плана в пределах j -элемента существующего плана по критерию $\min \sum \Delta_i = 0$ обуславливает собой разрывы по концам элемента равные

$$\Delta\alpha(j) = \alpha_p(j) - \alpha_c(j),$$

которые можно рассматривать как «рабочие отметки» проектного плана трассы новой или реконструируемой железной дороги.

Устраняя эти разрывы путем сопряжения со смежными прямыми (или кривыми) определим начало и конец проектного элемента плана и, тем самым, сдвиги в j и $j+1$ -точках существующего плана, величина которых будет равна [10]:

$$\Delta(j) = \Delta\alpha^2(j) / 2\rho_p.$$

Обратно ограничения на «рабочие отметки» проектного плана могут быть определены следующим образом:

$$\Delta\alpha(j) \geq \sqrt{2\Delta(j)\rho_p},$$

где $\Delta(j)$ – ограничение на сдвиг в j -точке существующего плана (аппроксимируемой линии).

Другим ограничением, накладываемым СП как на план, так и профиль трассы новых и реконструируемых железных дорог, является ограничение на длину элемента.

Длина элемента плана и профиля должна обеспечивать устройство граничных кривых (вертикальных либо переходных) и прямую вставку (круговую кривую) между ними минимальной длины [11, 12]. Тогда длина элемента профиля и плана как новых, так и реконструируемых железных дорог должна удовлетворять следующему неравенству:

$$l(j) \geq T(j) + T(j+1) + l_{\min}, \quad (2)$$

где $T(j)$, $T(j+1)$ – тангенсы круговых или вертикальных кривых, в j и $j+1$ -точках (границах)

j -го элемента; l_{\min} – минимальная длина прямой вставки (круговой кривой) между кривыми (переходными кривыми).

При проектировании продольного профиля трассы новой и реконструируемой линии тангенсы вертикальных кривых $T(j)$, $T(j+1)$ будут равны:

$$T(j) = R_{B1} \cdot \Delta i_1 / 2, \quad T(j+1) = R_{B2} \cdot \Delta i_2 / 2. \quad (3)$$

где R_{B1} , R_{B2} – радиусы вертикальных кривых в j и $j+1$ -переломах профиля; Δi_1 , Δi_2 – алгебраическая разность уклонов смежных элементов профиля в j и $j+1$ -переломах.

Минимальная длина прямой вставки между тангенсами вертикальных кривых может быть принята равной 0.

Ограничение СП на разность уклонов смежных элементов продольного профиля трассы проектируемых или реконструируемых железных дорог, которая представляет собой угол поворота в вертикальной плоскости, является аналогом ограничения на длину элемента (2), поскольку от нее (разности уклонов) зависит величина тангенса вертикальной кривой (3). Поэтому, при автоматизированном проектировании продольного профиля трассы новых и реконструируемых железных дорог от ограничения на разность уклонов смежных элементов можно отказаться. Подтверждением тому является отсутствие ограничений СП на величину углов поворотов круговых кривых, т. е. в горизонтальной плоскости при проектировании плана трассы новых и реконструируемых железных дорог.

Кроме ограничений на аппликаты, кривизну (уклон) и длину элементов плана или профиля трассы, СП накладывает ограничение на взаимное положение элементов плана и профиля.

Это ограничение выражается в недопустимости проектирования вертикальных кривых в пределах переходных, т. е. кривых второго и третьего порядков, и может быть отнесено на взаимное расположение переломов (границ элементов) плана и профиля:

$$S(j,k) \geq T_B(j) + l_n(k)$$

где $S(j,k)$ – расстояние между j -переломом профиля и k -переломом плана трассы; $T_B(j)$ – тангенс вертикальной кривой в j -переломе профиля; $l_n(k)$ – длина переходной кривой в k -переломе плана, т. е. для k -круговой кривой.

Окончательно общая модель плана и профиля трассы новых и реконструируемых железных дорог для автоматизированного проектирования представляется следующим образом:



1. Модель исходной (аппроксимируемой) кусочно-ломаной линии:

$$C = \{Sc(i), Zc(i)\}, \quad i \in 1, N.$$

2. Модель проектной (аппроксимирующей) кусочно-ломаной линии:

$$P = \{Sp(j), Zp(j)\} \quad j \in 1, M.$$

3 Ограничения на проектную (аппроксимирующую) линию:

– уклон (кривизна) элемента проектной линии

$$(Z_p(j+1) - Z_p(j)) / (S_p(j+1) - S_p(j)) \in i_{\max}, i_{\min} (\rho_{\max}, \rho_{\min});$$

– аппликаты проектной линии в профиле и плане

$$Z_p(j) \leq Z_c(j) \pm Z_{\text{опр}}(j),$$

$$Z_p(j) \leq Z_c(j) \pm \sqrt{(2\Delta(j) \rho_p(k))};$$

– длина элемента проектной линии

$$L(j) = S_p(j+1) - S_p(j) \geq T(j) + T(j+1) + l_{\min};$$

– расстояние между переломами (границами) элементов плана и профиля

$$S(j, k) \geq T_e(j) + l_n(k).$$

Математическая модель критерия эффективности

Критерий рациональности (близости) аппроксимирующего элемента к аппроксимируемому представляется следующим образом [13, 14]:

$$\mathcal{E} = \int_0^L [Z_p(l) - Z_c(l)] dl \rightarrow \min,$$

где $Z_p(l)$, $Z_c(l)$ – аппликаты кусочно-линейных функций аппроксимируемого и аппроксимирующего плана или профиля новой или реконструируемой железной дороги; L – длина проектируемого участка.

После простых преобразований получим:

$$\int_0^L Z_p(l) dl = \int_0^L Z_c(l) dl, \quad (4)$$

т. е. рациональное значение критерия достигается при равенстве площадей, заключенных между осью абсцисс и графиками кусочно-линейных функций, соответственно, аппроксимируемого и аппроксимирующего плана или профиля новой или реконструируемой железной дороги.

Физический смысл критерия (4) заключается в минимальных объемах работ по «приведению» аппроксимируемого плана или профиля новой или реконструируемой железной дороги в положение аппроксимирующего.

Если предположить, что при проектировании плана или профиля трассы новых железных дорог поперечные профили выемок и насыпей одинаковы [15], то объем земляных работ будет зависеть только

лишь от величин рабочих отметок. Тогда, критерий рациональности (3) будет иметь вид

$$\mathcal{E} = \int_0^L [Z_p(l) - Z_c(l)] dl = 0.$$

Однако, поскольку поперечные профили выемок и насыпей не одинаковы, то критерием эффективности будет профильный объем земляных работ, минимум которого достигается при условии

$$Q_{\text{нас}} = Q_{\text{выем}} \rightarrow Q_{\text{проф}} \rightarrow \min.$$

Профильный объем земляных работ как по профилю, так и по плану новой или реконструируемой железной дороги определяется следующим образом:

$$Q_{\text{проф}} = \sum_{i=1}^N ((b + m \Delta_{cpi}) \Delta_{cpi} l_i),$$

где b – ширина основной площадки земляного полотна (для выемок, с учетом кюветов); m – заложение откосов земляного полотна; l_i – длина i -массива профиля или плана; Δ_{cpi} – средняя рабочая отметка массива для продольного профиля; $\Delta_{cpi} = \Delta_i i_{k_i}$ – средняя рабочая отметка массива для плана (Δ_i, i_{k_i} – соответственно сдвиг и косогорность рельефа в i -точке плана); N – число массивов земляного полотна по профилю или плану для расчета профильного объема земляных работ.

Аналогичная картина имеет место и при проектировании реконструкции плана или профиля эксплуатируемых железных дорог или в других задачах проектирования железных дорог [16, 17]. Критерий (4) обеспечивает минимум рихтовочных работ по приведению плана и профиля в проектное положение в случае выполнения рихтовочных работ в пределах основной площади земляного полотна.

В общем случае приведение плана и профиля существующей железной дороги в проектное положение может быть осуществлено за счет реконструкции земляного полотна. Тогда критерием рациональности будет также минимум профильного объема земляных работ.

Заключение

Таким образом, общая модель плана и профиля, разработанная на основе общего представления плана и профиля трассы кусочно-линейными функциями, имеет простую структуру и упрощает формализацию норм и требований СП, предъявляемых к плану и профилю трассы как новых, так и реконструируемых железных дорог. На этой основе и с учетом общего критерия эффективности разработан общий метод автоматизированного проектирования плана и профиля новых и реконструируемых железных дорог.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Струченков В.И. Методы оптимизации трасс в САПР линейных сооружений. М. : Солон-Пресс, 2014. 272 с.
2. Корячко В.П., Курейчик В.М., Поренков И.П. Теоретические основы САПР. М. : Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
3. Изыскания и проектирование железных дорог / А.В. Горинов, И.И. Кантор и др. Т. 1. М. : Транспорт, 1979. 319 с.
4. Изыскания и проектирование железных дорог / под ред. И.В. Турбин. М. : Транспорт, 1989. 479 с.
5. Богданов А.И. Современное состояние и пути развития науки «Изыскания и проектирование железных дорог» // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014. Вып. 4. 415 с.
6. Богданов А.И. Выбор направления трассы проектируемых железных дорог с применением космических съемок : дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 168 с.
7. СП 119.13330.2012. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32–01–95. М. : Минрегион России, 2012.
8. Струченков В.И. Математические основы оптимизации трассы дороги на ЭВМ // Вопросы проектирования железных дорог с применением ЭВМ : сб. науч. тр. Вып. 74. М. : ВНИИТС, 1974. С. 84–91.
9. Богданов А.И. Математическая модель продольного профиля трассы новых железных дорог // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. Вып. 6. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. 185 с.
10. Богданов А.И. Автоматизированное проектирование реконструкции плана эксплуатируемых железных дорог // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. 2016. № 1 (6). С. 39–44.
11. Турбин И.В. Практические расчеты при проектировании трассы железных дорог. М. : Транспорт, 1987. 199 с.
12. Куприянов Н.В. Как определить элементы кривой // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 1.
13. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М. : Наука, 1980. 520 с.
14. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций. М., 1988. 469 с.
15. Полосин Ю.К. Методы оптимального проектирования трассы железных дорог. Л., 1965. 171 с.
16. Богданов А.И. Паспортизации плана и продольного профиля железнодорожного пути с применением автоматизированных методов и фотосъемки с БПЛА // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. Вып. 4. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2014. 415 с.
17. Руководство по проектированию вторых путей. М. : Трансжелдориздат, 1948. 287 с.

REFERENCES

1. Struchenkov V.I. Metody optimizatsii trass v SAPR lineinykh sooruzhenii [Route optimization methods in CAD linear structures]. Moscow: SOLON-Press Publ., 2014, 272 p.: il.
2. Koryachko V.P., Kureichik V.M., Porenkov I.P., Teoreticheskie osnovy SAPR [Theoretical foundations of CAD]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987, 400 p.: il.
3. Gorinov A.V., Kantor I.I., Kondratchenko A.P., Turbin I.V. Izyskaniya i proektirovanie zheleznykh dorog: Uchebnik dlya vuzov zh.-d. transp. [Research and design of railways: A textbook for railway transport universities]. 6th ed., revised and enlarged. Moscow: Transport Publ., 1979. 319 p. Vol. 1.
4. Turbin I.V., Gavrilin A.V., Kantor I.I. et al; Izyskaniya i proektirovanie zheleznykh dorog: Uch-k dlya vuzov zh.-d. transp. [Research and design of railways: A textbook for railway transport universities]. In Turbin I.V. (ed.). Moscow: Transport Publ., 1989. 479 p.
5. Bogdanov A.I. Sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya nauki «Izyskaniya i proektirovanie zheleznykh dorog» [Bogdanov A.I. The current state and development of science "Research and design of railways"]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog: sb. nauch. tr. [Designing the development of a regional network of railways: proceedings]*. In Shvartsfel'd V.S. (ed.). Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2014. Iss. 4. 415 p.: il.
6. Bogdanov A.I. Vybora napravleniya trassy proektiruemykh zheleznykh dorog s primeneniem kosmicheskikh s"emok. Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Selecting the direction of the route of the designed railways using satellite observations. Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow, MIIT Publ., 1986. 168 p., app.
7. SP 119.13330.2012 "Zheleznyye dorogi kolei 1520 mm. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 32-01-95" [SP 119.13330.2012 "1520 mm gauge railways. Updated version of SNiP 32-01-95"]. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia Publ., 2012.
8. Struchenkov V.I. Matematicheskie osnovy optimizatsii trassy dorogi na EVM [Mathematical foundations of road route optimization using computers]. V sb. nauchn. trudov VNIITS "Voprosy proektirovaniya zheleznykh dorog s primeneniem EVM" [In the coll. of scientific papers of VNIITS "Problems of designing railways using computers"], iss. 74. Moscow, 1974. Pp. 84–91.
9. Bogdanov A.I. Matematicheskaya model' prodol'nogo profilya trassy novykh zheleznykh dorog [A mathematical model of the longitudinal profile of the route of new railways]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog : sb. nauch. tr. [Designing the development of a regional network of railways: proceedings]*. In Shvartsfel'd V. S. (ed.). Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2018. Iss. 6. 185 p.: il.
10. Bogdanov A.I. Avtomatizirovannoye proektirovanie rekonstruktsii plana ekspluatiruemykh zheleznykh dorog [Automated design for reconstruction of an operated railroad plan]. *Transport Aziatsko-Tikhookeanskogo regiona [Pacific Rim countries transportation system]*. A scientific journal in Davydov Yu. A. (ed.). Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2016. Pp. 39–44.
11. Turbin I.V. Prakticheskie raschet y pri proektirovanii trassy zheleznykh dorog [Practical calculations in the design of railways]. Moscow: Transport Publ., 1987. 199 p.



12. Kupriyanov N.V. Kak opredelit' elementy krivoi [How to identify the elements of the curve]. *Put' i putevoe khozyaistvo [Railway Track and Facilities]*, No. 1, 1997.
13. Vasil'ev F.P. Chislennyye metody resheniya ekstremal'nykh zadach [Numerical methods for solving extreme problems]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 520 p.
14. Metodicheskie ukazaniya po sravneniyu variantov proektnykh reshenii zheleznodorozhnykh linii, uzlov i stantsii [Guidelines for comparing design options for railway lines, hubs and stations]. Moscow, 1988. 469 p.
15. Polosin Yu.K. Metody optimal'nogo proektirovaniya trassy zheleznykh dorog [Methods for the optimal designing of railways]. Leningrad, 1965. 171 p.
16. Bogdanov A.I. Pasportizatsii plana i prodol'nogo profilya zheleznodorozhnogo puti s primeneniem avtomatizirovannykh metodov i fotos"emki s BPLA [Certification of the plan and the longitudinal profile of the railway using automated methods and photography with UAVs]. *Proektirovanie razvitiya regional'noi seti zheleznykh dorog: sb. nauch. tr. [Designing the development of a regional network of railways: proceedings]*. In Shvartsfel'd V.S. (ed.). Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2014. Iss. 4. 415 p.: il.
17. Rukovodstvo po proektirovaniyu vtorykh putei [Guidelines for the designing of secondary tracks]. Moscow: Transzheldorizdat Publ., 1948. 287 p.

Информация об авторах

Authors

Богданов Андрей Иванович – к. т. н., доцент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: Abogdanov561@yandex.ru.

Andrei Ivanovich Bogdanov – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Far East State Transport University, e-mail: Abogdanov561@yandex.ru.

Для цитирования

For citation

Богданов А. И. Общая модель плана и профиля для автоматизированного проектирования новых и реконструируемых железных дорог // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 142–148. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).142–148

Bogdanov A. I. Obshchaya model' plana i profilya dlya avtomatizirovannogo proektirovaniya novykh i rekonstruiemykh zheleznykh dorog [The general plan and profile model for the automated designing of new and reconstructed railways]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 142–148. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).142–148

УДК 625.03

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).148–154

Е. Г. Леоненко

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, Российская Федерация

Дата поступления: 29 апреля 2019 г.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПУТИ И ПОРОЖНИХ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ПРЯМЫХ И КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

Аннотация. В работе анализируются силы, действующие на колесную пару при вписывании вагона в кривые участки пути. В процессе исследования движения порожних вагонов рассмотрены различные способы их установки в кривой. Выявлено, что во всех рассмотренных случаях сход, вагон находился в положении наибольшего перекоса, что способствует обезгрузиванию первой колесной пары по ходу движения. Разгрузка набегающего колеса на рельс существенно снижает устойчивость порожнего вагона и приводит к всползанию колеса на головку рельса. Для определения причин разгрузки колеса необходимо провести глубокий анализ параметров пути и подвижного состава, которые могут оказать существенное влияние. Рассмотрено влияние конкретных параметров на безопасность движения порожнего подвижного состава с двухосными тележками. Представлен алгоритм расчета коэффициента запаса устойчивости при изменении параметров железнодорожного пути и подвижного состава. В качестве метода решения принят метод последовательных изменений параметров железнодорожного пути и подвижного состава. Данная математическая модель позволяет не только выявить причину схода вагона с рельсов, но и подобрать необходимые характеристики пути и вагона, при которых можно исключить сход внутрь кривой. Полученные данные позволяют сделать вывод, что наибольшее влияние на вписывание подвижного состава в кривые участки пути оказывает не состояние подвижного состава, а параметры железнодорожного пути, такие как ширина колеи и возвышение наружного рельса, особенно в кривых малого радиуса.

Ключевые слова: безопасность движения, коэффициент запаса устойчивости, вагон, сход, алгоритм расчета.