

В. П. Бельтюков¹, А. В. Андреев¹

¹Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ФГБОУ ВО ПГУПС), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА С УЧЕТОМ СТОИМОСТИ МЕЖРЕМОНТНОГО ЦИКЛА И СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ПОЕЗДОПОТОКА

Аннотация. Оптимизация ведения путевого хозяйства - важный аспект деятельности ОАО «РЖД». Предотвращая расстройство колеи и выход элементов верхнего строения пути, можно существенно сэкономить ресурсы при содержании пути. В кривых участках пути устраивается возвышение наружного рельса. Условиями величины возвышения наружного рельса является равенство сил тяжести подвижного состава и силы инерции в кривой, а также условие комфортабельности езды в кривом участке. Условия включают в себя зависимость возвышения от предельных скоростей. В статье предлагается учитывать экономические показатели и средневзвешенные скорости при определении возвышения наружного рельса.

Ключевые слова: возвышение наружного рельса, непогашенное ускорение, стоимость межремонтного цикла

V. P. Beltiukov¹, A. V. Andreev¹

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSTU), Saint Petersburg, the Russian Federation

DETERMINATION OF EXTERNAL RAIL INCREASING IN ACCORDANCE WITH THE COST OF THE REPAIR CYCLE AND THE AVERAGE TRAIN SPEED

Abstract. Optimization of track management is an important aspect for Russian Railways. By preventing track failures and preventing removal of track upper structure elements, it is possible to save resources while maintaining the track. On a curved track, outer rail elevation is provided. Main conditions for the superelevation value are the equality of horizontal component of rolling stock weight and centrifugal force, as well as comfort for passengers when moving along a curve. Superelevation is calculated for both minimum and maximum speeds. The present article proposes to take into account economic indicators and weighted average speeds when determining the elevation of outer rail.

Keywords: elevation of the outer rail, unbalanced acceleration, overhaul period cycle cost.

Для расчета величины возвышения наружного рельса в кривой нормативами ОАО «РЖД» [1] предусмотрен расчет по формуле:

$$h_{расч} = 12,5 \frac{V_{np}^2}{R} - [a_{nn}] \cdot 163, \text{ мм}, \quad (1)$$

где V_{np} - предельная (максимальная/минимальная) скорость поездов, км/ч;
 R - радиус кривой, м;
 $[a_{nn}]$ - допускаемая величина непогашенного ускорения, м/с².

Радиус кривой принимается по паспортным данным, допускаемые непогашенные ускорения принимаются $\pm 0,3$ м/с² для грузовых и $+ 0,7$ м/с² для пассажирских поездов [2].

Так при расчете применяются три величины непогашенных ускорений ($+ 0,3$ м/с², $- 0,3$ м/с²; $+ 0,7$ м/с²), расчет возвышения производится три раза. При этом рассматриваются три вида скоростей поездов: максимальной и минимальной для грузовых, и максимальной скорости пассажирских. Скорости определяются статистическим анализом скоростемерных лент. Максимальные и минимальные скорости грузовых поездов приводят к максимальным и

минимальным скоростям грузового поездопотока, а за максимальные скорости пассажирских поездов принимаются установленные. Возвышение наружного рельса при расчёте по формуле 1 не может превышать 150 мм [3].

Для определения предельных значений скоростей производят выборку масс и скоростей грузовых поездов, проследовавших за сутки. Выборка должна быть не менее 30 поездов, для возможности использования нормального закона распределения.

Средневзвешенную скорость на участке можно определить с помощью статистического анализа по выражению (2), аналогично требованиям Руководства [4].

$$V_{cp} = \sqrt{\frac{\bar{k}}{\bar{m}}}, \text{ км/ч,} \quad (2)$$

где: \bar{k} - средневзвешенная кинетическая энергия поезда, т.е. сумма произведений массы и квадрата скорости поездов, $\text{т} \times \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^2$;
 \bar{m} - средняя масса поезда, т.

Определение скоростей движения поездов статистическим способом

Для примера расчета выбран кривой участок грузового движения Московской ж.д. протяжением 500 м. На участке путь с рельсами Р65, ж.-б. шпалами, скреплением АРС-4. Радиус кривой 590 м, фактическое возвышение наружного рельса 99 мм. Паспортные и статистические данные получены при проведении исследовательской работы [5]. Установленная скорость пассажирских поездов – 100 км/ч.

Для определения предельных скоростей грузового движения составлен статистический ряд (табл. 1). Ряд составлен на основе данных о 36 пройденных грузовых поездах по участку. В таблице 1 в качестве примера приведены первые десять кривых участков.

Расчетом определены средняя величина условной кинетической энергии: $\bar{k} = 15254699 \text{ т} \cdot \left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)^2$ и средняя масса поезда 5054 т.

После определения кинетической энергии и средней массы поезда производится проверка статистического ряда на нетипичность значений. Для проверки производится расчет по формулам (3) и (4).

$$T_{\min} = \frac{\bar{k} - k_{\min}}{S_k}; T_{\max} = \frac{k_{\max} - \bar{k}}{S_k}; \quad (3,4)$$

где k_{\min} - максимальная условная кинетическая энергия в ряду, $\text{т} \cdot (\text{км/ч})^2$;
 k_{\max} - минимальная условная кинетическая энергия в ряду, $\text{т} \cdot (\text{км/ч})^2$;
 S_k - среднеквадратическое отклонение.

В приведенном расчете выражения будут следующими:

$$T_{\min} = \frac{15254699 - 1160580}{8290307,8} = 1,7; T_{\max} = \frac{38161872 - 15254699}{8290307,8} = 2,76$$

По Руководству [4] находится величина С (2,864). $T_{\min} > С$ и $T_{\max} > С$. Это означает, что данные из ряда не исключаются. Далее производится расчет средневзвешенной скорости грузового движения по формуле (2).

$$V_{cp} = \sqrt{\frac{15254699}{5054,03}} = 54,94 \text{ км/ч.}$$

Таблица 1 – Статистический ряд для определения скоростей поездопотока

№ п/п	Номер поезда	Масса поезда брутто, т	Средняя скорость поезда в пределах кривой, км/ч
1	2731	5943	47
2	2241	2951	60
3	2235	5329	54
4	2647	5287	52
5	2645	4998	69
6	2603	5268	52
7	2677	5863	52
8	2225	4992	48
9	2255	2834	53
10	2233	7976	62

После определения средневзвешенной скорости производится расчет возвышения наружного рельса на основе оптимальных значений непогашенных ускорений, полученных с учетом стоимости межремонтного цикла.

Принципы определения оптимального возвышения

Определяя возвышение из условий предельных скоростей и непогашенных ускорений, невозможно учесть, что при содержании кривых участков с различными условиями эксплуатации в результате воздействия от поездов возникнет потребность в выполнении работ по их устранению с разным уровнем затрат. Поэтому возвышение нужно выбирать с учетом затрат на содержание пути за межремонтный цикл. Межремонтным циклом для кривого участка пути в расчетах предложено считать промежуток времени, в который включается укладка, техническое обслуживание и разборка верхнего строения пути.

Для определения оптимальных параметров рельсовой колеи в кривой вводится понятие стоимости межремонтного цикла (СМЦ), как суммы затрат на протяжении межремонтного цикла. В укрупнённом виде стоимость межремонтного цикла равна:

$$СМЦ = Z_{тсп} + Z_p \quad (5)$$

где: $Z_{тсп}$ - затраты на работы текущего содержания пути;

Z_p - затраты на ремонт на протяжении межремонтного цикла, включая затраты при укладке и разборке рельсошпальной решетки.

Оптимальными считаются такое непогашенное ускорение и такое возвышение наружного рельса, при которых СМЦ будет минимальной, а непогашенное ускорение – в безопасных пределах. Если устанавливать в кривой оптимальные величины возвышения, можно минимизировать дефектность элементов верхнего строения пути, объем расстройств рельсовой колеи и расход ресурсов.

При анализе зависимостей затрат от непогашенного ускорения было рассмотрено большое количество функций. Анализ по методу наименьших квадратов показал, что наибольшую сходимость показала экспоненциальная зависимость:

$$f(x) = Ae^{Bx} \quad (6)$$

Здесь в качестве функции выступают затраты на работу текущего содержания пути, а в качестве неизвестного x – непогашенное ускорение. Параметр A показывает уровень затрат на эту работу при нулевом непогашенном ускорении. Параметр B показывает интенсивность изменения затрат при изменении непогашенного ускорения.

Параметр B может быть, и положительным, и отрицательным. При отрицательном B функция будет уменьшаться с увеличением непогашенного ускорения, при положительном – увеличиваться. Также знак указывает какая рельсовая нить больше подвержена неисправностям. При знаке «+» большему воздействию подвергается наружная нить, а при знаке «-» - внутренняя нить.

Для учета влияния на разные нити решено разделить неисправности верхнего строения пути на две группы. Первая группа, соответствующая первой части формулы (7) относится к тем неисправностям, для которых расходы растут при увеличении положительного

непогашенного ускорения, а вторая часть – когда расходы растут при увеличении отрицательного непогашенного ускорения.

Оптимальный показатель непогашенного ускорения определяется из условия минимума затрат на содержание пути $f(x)$. Функция суммарных затрат может быть представлена, как сумма сумм затрат на работы первой и второй групп:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n A_i e^{B_i x_i} + \sum_{i=1}^m C_i e^{-D_i x_i} \quad (7)$$

- где i – работа на исправление одного из видов неисправностей,
 m – количество работ i , по устранению неисправностей, которые образуются как правило при положительном непогашенном ускорении;
 n – количество работ i , по устранению неисправностей, которые образуются как правило при отрицательном непогашенном ускорении.

На рисунке 1 демонстрируется пример определения оптимального непогашенного ускорения по функции (7).

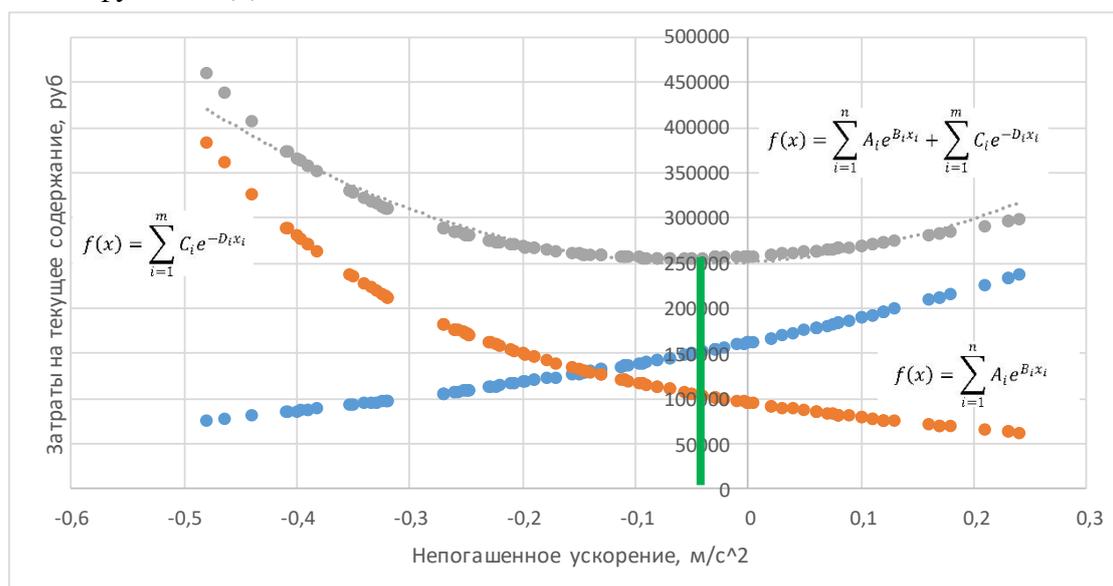


Рис. 1. Определение оптимального непогашенного ускорения

По результатам приведенного расчета можно сделать вывод, что оптимальное возвышение наружного рельса для кривых со смешанным движением должно определяться из условия не нулевого, а оптимального непогашенного ускорения, при котором обеспечиваются минимум затрат на содержание кривой:

$$h_{расч} = 12,5 \frac{V_{cp}^2}{R} - a_{онм} \cdot 163, \quad (8)$$

где обозначения такие же, как в формуле (1), кроме оптимальной величины непогашенного ускорения $a_{опт}$, определяемого расчетом и средней величины скорости поездов. В примере получена величина оптимального непогашенного ускорения $a_{онп} = -0,04$ м/с². По результатам расчета можно в качестве примера определить оптимальное возвышение наружного рельса:

$$h_{расч} = 12,5 \frac{54,94^2}{590} - (-0,04) \cdot 163 = 71 \text{ мм.}$$

Эта величина для данной кривой больше, чем определенная из условия нулевого непогашенного ускорения (64 мм), но меньше, чем фактическое возвышение (99 мм).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых, утв. заместителем министра путей сообщения Российской Федерации Сазоновым В.Н. - М.: Транспорт, 2002. – 24 с.;
2. Об установлении возвышения наружного рельса в кривых: Указание Министерства путей сообщения С-333у от 17.03.97 г. / МПС РФ. – М.: Транспорт, 1997. – 18 с.;
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Минтранса России № 286 от 21 декабря 2010 г., с изменениями, внесенными приказом Минтранса России № 54 от 09 февраля 2018 г., М.: Минтранс, 2018.;
4. Временное руководство по определению возвышения наружного рельса и допускаемых скоростей движения в кривых: ЦПТ-44/17, утв. ОАО «РЖД» 22.08.2009.;
5. Оптимизация нормативов устройства железнодорожного пути // Отчет о результатах эксплуатационных наблюдений в кривых с различным непогашенным ускорением с последующим проведением анализа результатов. Рук. темы Бельтюков В.П. Отчет о НИР Шифр темы № 5.199, СПб, ПГУПС, 2018.

REFERENCES

1. Guidelines for determining the outer rail elevation, approved by Deputy Minister of Railways of the Russian Federation – М.: Transport, 2002. - 24 p.;
2. On the determining of outer rail elevation in curves: Instruction of the Ministry of Railways «С-333у», 17 March 1997 / Ministry of Railways of the Russian Federation. - М.: Transport, 1997. - 18 p.;
3. Rules of technical operation of railways of the Russian Federation, approved by Ministry of Transport of Russian Federation order № 286, 21 December 2010.;
4. Interim guidelines on determining the elevation of the outer rail and speeds limits in curves: «ЦПТ-44/17», approved by Russian Railways, 22 August 2009.;
5. Optimization of railroad track facilities standards // Report on the results of operational observations in curves with various unbalanced acceleration. Project coordinator Beltiukov V.P. Theme code № 5.199, St. Petersburg, PSTU, 2018.

Информация об авторах

Бельтюков Владимир Петрович - д. т. н., профессор кафедры «Железнодорожный путь», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: beltukov@pgups.ru

Андреев Андрей Викторович - техник кафедры «Железнодорожный путь», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: oddman@bk.ru

Authors

Vladimir Petrovich Beltiukov – Doctor of Technical Science, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSTU), Saint Petersburg, e-mail: beltukov@pgups.ru

Andrey Viktorovich Andreev – Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSTU), Saint Petersburg, e-mail: oddman@bk.ru

Для цитирования

Андреев А.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗВЫШЕНИЯ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА С УЧЕТОМ СТОИМОСТИ МЕЖРЕМОНТНОГО ЦИКЛА И СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ПОЕЗДОПОТОКА [Электронный ресурс] / А.В. Андреев, В.П. Бельтюков // Молодая наука Сибири: электрон.

науч. журн. – 2020. - № 3(9). – Режим доступа: <http://mnv.irkups.ru/toma/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

For citation

Andreev A.V. DETERMINATION OF EXTERNAL RAIL INCREASING IN ACCORDANCE WITH THE COST OF THE REPAIR CYCLE AND THE AVERAGE TRAIN SPEED [Electronic resource] / A. V. Andreev, V. P. Beltiukov // "Young science of Siberia": electron. scientific journal – 2020. – № 3(9). – Access mode: <http://mnv.irkups.ru/toma/>, free. – Zagl. from the screen. – Yaz. Russian, English.