

УДК 656.1

*А.В. Москвитина*

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ БОКОВОЙ СИЛЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НЕРОВНОСТИ В ПЛАНЕ**

**Аннотация.** *На различных этапах развития железнодорожного транспорта на первый план выступали различные проблемы взаимодействия колеса и рельса. К их числу относятся механическая усталость рельсов и контактная усталость колес и рельсов, их повышенная изнашиваемость, что приводит к нарушениям безопасности движения, а в особо запущенных случаях к сходу подвижного состава. В практике для определения причины возникновения разрушения и износа исследуют три компоненты силы взаимодействия: вертикальную, горизонтальную и продольную. С проблемой интенсивного износа колес подвижного состава и рельсовых нитей работники железнодорожного транспорта столкнулись давно. Особенно эта проблема проявляет себя на участках, где расположены кривые малого радиуса железнодорожного пути.*

*Данная работа направлена на исследование взаимодействия колеса подвижного состава и рельсового пути и образованных в следствии этого взаимодействия, поперечных сил в продольном направлении. В статье рассмотрено изменение боковой силы в зависимости от величины неровности в плане. Определено влияние данной силы на образования бокового износа и дефекты, к которым приводит данный износ. Проведено компьютерное моделирование в среде «Универсальный механизм» с целью определения зависимости между величиной неровности в плане и скоростью изменения поперечных сил. Рассмотрены проблемы связанные с взаимодействием колеса подвижного состава и рельсов, влияющие на образование дефектов рельсов и колеса.*

**Ключевые слова:** *боковые силы, боковой износ, неровности, колесо подвижного состава, рельс, точки контакта на рабочих гранях колеса и рельса.*

*A. V. Moskvitina*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **DETERMINATION OF THE RATE OF CHANGE OF LATERAL FORCE DEPENDING ON THE SIZE OF THE IRREGULARITY IN THE PLAN**

**Annotation.** *At various stages of the development of railway transport, various problems of interaction between the wheel and the rail came to the fore. These include mechanical fatigue of rails and contact fatigue of wheels and rails, their increased wear, which leads to violations of traffic safety, and in particularly neglected cases to the descent of rolling stock. In practice, to determine the cause of destruction and wear, three components of the interaction force are investigated: vertical, horizontal and longitudinal. The problem of intensive wear of wheels of rolling stock and rail threads was faced by railway transport workers in the first relatively recently. This problem manifests itself especially in areas where the curves of a small radius of the railway track are located.*

*This work is aimed at studying the interaction of a rolling stock wheel and a rail track and the resulting interaction of transverse forces in the longitudinal direction. The article considers the change in lateral force depending on the size of the irregularity in the plan. The influence of this force on the formation of lateral wear and the defects that this wear leads to is definitely determined. A computer simulation was carried out in the "Universal Mechanism" environment in order to determine the relationship between the amount of irregularity in the plan and the rate of change of transverse forces. The problems related to the interaction of the rolling stock wheel and rails affecting the formation of defects in the rail chain and wheel are considered.*

**Keywords:** *lateral forces, lateral wear, unevenness, rolling stock wheel, rail, points of contact on the working faces of the wheel and rail.*

### **Введение**

Ключевой проблемой железнодорожного транспорта является взаимодействие колеса подвижного состава с рельсами. При этом взаимодействию должен быть низкий коэффициент трения для обеспечения движения подвижных составов большей массы с малым сопротивлением, но также уровень трения должен быть достаточным для обеспечения требуемой силы тяги. Кроме коэффициента трения на взаимодействие колеса и рельса влияют материалы, из которых они сделаны. Конструкционные материалы должны быть прочными, для обеспечения сопротивляемости силам, возникающим из-за высоких нагрузок, а также для сопротивления динамическим реакциям, вызванным неровностям пути и колес [1-5].

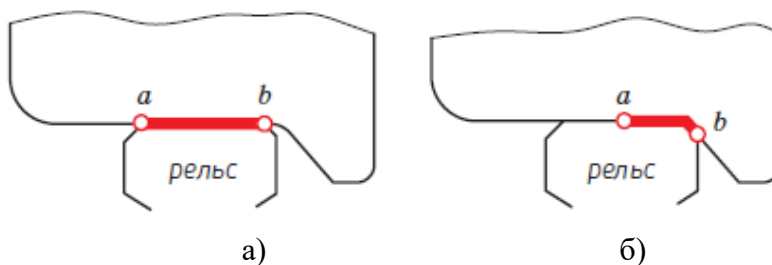
При качении колесной пары по пути возникают точки контакта на рабочих гранях колеса и рельса, которые постоянно меняют свое положение. В точках контакта возникает сила, которая так же является переменной. Под действием данной силы происходит деформация, в следствии, которой «точки контакта» приобретают конечные размеры. Следовательно, образуются контактные площадки, имеющие форму эллипса [6].

Если сила контакта, возникающая между колесом подвижного состава и рельсом, превышает нормальные значения, то на поверхностях рельса и колеса образуются дефекты, вызванные износом.

### **Боковой износ**

Боковой износ – это уменьшение ширины головки рельсов, измеренное на уровне 13 мм от поверхности катания. Но как же он возникает?

При движении экипажа по кривой устойчивое положение колесной пары на рельсовой колее гарантируется появлением направляющей силы, возникающей в зоне контакта между гребнем колеса и боковой поверхностью рельса (Рис.1). В следствии чрезмерного воздействия данной силы, повышения грузонапряженности на пути и применения длинносоставных поездов в последнее время на железных дорогах возникает проблема интенсивного износа гребня колеса и боковых гребней рельсов.



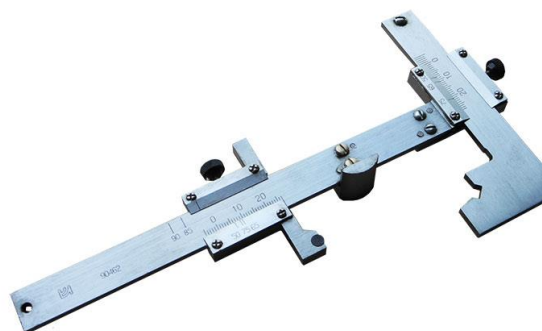
**Рис.1. Расположение зоны контакта гребней колеса и рельса в прямом участке пути (а) и в кривом участке пути (б)**

### **Дефекты, к которым приводит боковой износ**

В следствии действия на рельс чрезмерного бокового износа возникает дефект, относящийся к IV группе дефектов (Смятие и неравномерный износ головки) и имеющий название «Сверх нормативный боковой износ». Код данного дефекта 44.0.

Дефект 44.0 возникает из-за недостаточной прочности металла, а также в следствии усиленного бокового давления. Для его обнаружения проводится внешний осмотр с использованием специального прибора.

Износ рельса производится с помощью скобы для контроля износа головки рельсов, так же используется его аналог скоба 08601 (Рис. 2). Это путевое измерительное устройство с помощью которого производится измерение бокового износа, вертикального износа и производится контроль напыла, образывающийся на рельсах. Так же измерения проводятся штангенциркулем «Путеец».



**Рис.2. Скоба для контроля износа головки рельсов**

Для снижения образования сверх нормативного бокового износа на участках, его образования следует:

1. Установить гребне- и рельсосмазыватели;
2. Следить за правильным положением кривых в плане и возвышением наружного рельса;
3. Своевременно выявлять рельсы со сверхнормативным износом, обеспечивать их плановую замену.

### Определение скорости изменения боковой силы в зависимости от величины неровностей в плане

Моделирование изменения боковой силы в зависимости от величины неровностей в плане будем производить в программе «Универсальный механизм». Данный программный комплекс предназначен для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем.

Исследование проводим для 4-хосной тележки, с нагрузкой 25 т/ось, со скоростью движения 20 м/с (72 км/ч) (Рис. 3).

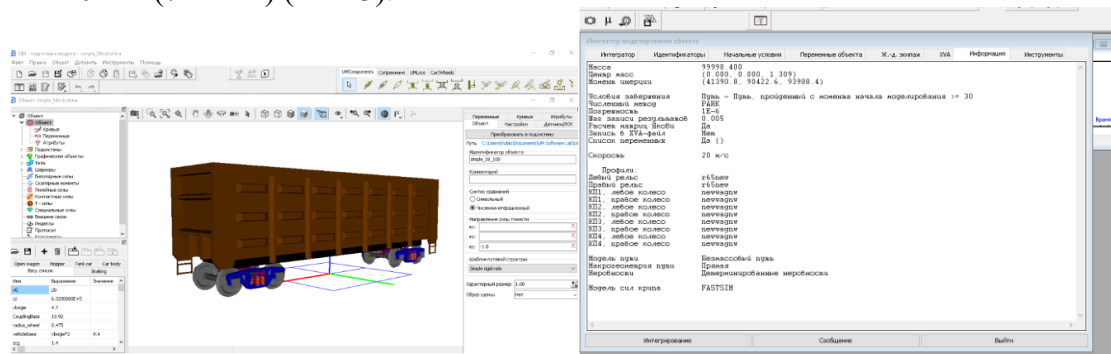


Рис. 3. Информация об исследуемой 4-хосной тележке

Для того, чтобы определить какие параметры в плане должны изменить в зависимости от степени отступления обратимся к Инструкции по оценке состояния рельсовой колеи путеизмерительными средствами и мерам по обеспечению безопасности движения, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля 2020 г. № 436/р. Согласно документу при длине неровности до 20 метров включительно и скорости движения поездов 61-120 км/ч для пассажирских поездов и 61-90 км/ч для грузовых поездов разность смежных стрел изгиба составляет: для I степени – от 10-15 мм, для II степени – до 25 мм, для III степени – до 35 мм, для IV степени – более 35 мм.

Следовательно, для определения скорости изменения боковой силы в зависимости от величины неровности нами будет смоделировано четыре возможных степени отклонения пути.

По результатам моделирования получены четыре графика (Рис. 4).

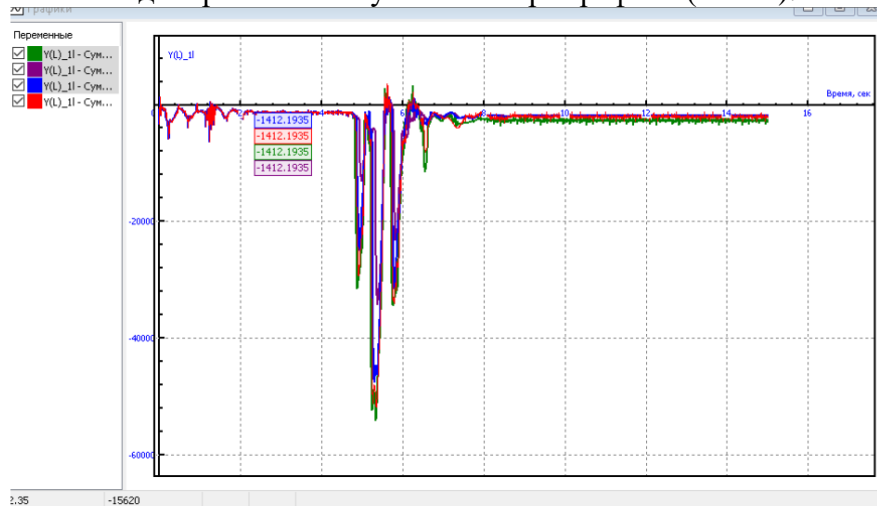
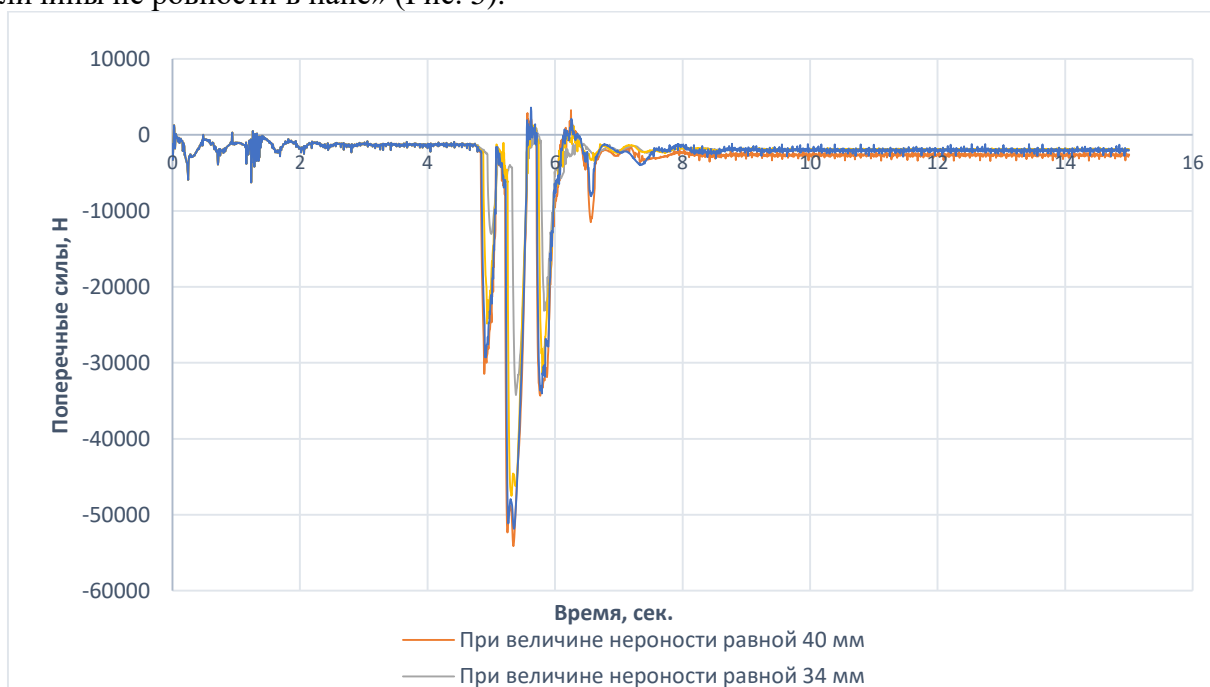


Рис.4. Графики суммарных поперечных сил, пученные в результате моделирования

Дальнейший анализ производим в программе Microsoft Excel. При переносе данных в данную программу получаем график «Проявления суммарных поперечных сил в зависимости от величины не ровности в пане» (Рис. 5).



**Рис.5. График проявления суммарных поперечных сил в зависимости от величины неровности в плане**

На данной графике мы видим, что чем больше неровность в плане, тем сильнее проявляются поперечные силы. Для дальнейшего анализа нам необходимо составить уравнение, которое будет описывать скорость изменения величины боковых сил в зависимости от величины неровности в плане.

Так же на графике видно, что наибольшие скачки боковых сил происходит между 4 и 8 секундами (Рис. 6) и равны -34,24 кН, -45,73 кН, -51,86 кН, -54,12 кН для неровностей равных 14 мм, 24 мм, 34 мм и 40 мм соответственно.



**Рис.6. Изменение величины боковых сил в зависимости от величины неровности пути в плане в момент времени 4-8 секунды.**

Для определения уравнения, описывающего зависимость между скоростью изменения боковых сил и величиной неровности в плане, построим два графика (Рис.7-8) по данным таблицы 1.

Таблица 1 «Максимальное значение боковой силы, полученные при моделировании»

Степень отклонения	Величина неровности, мм	Время возникновения неровности в плане, сек	Максимальное значение боковых сил, Н	Скорость изменения боковых сил, кН/с
I степень	14	5,3	34239.08	6.46
II степень	24		45729.92	8.63
III степень	34		51859.96	9.78
IV степень	40		54123.83	10.21

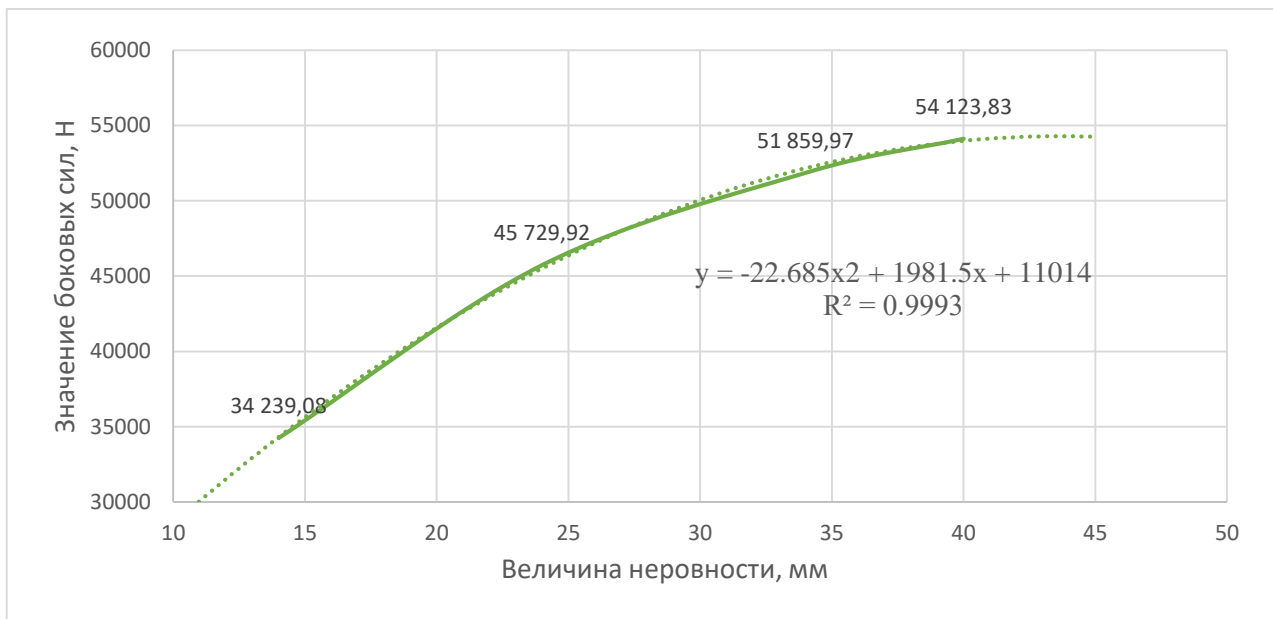


Рис.7. График зависимости изменения боковых сил от величины неровности в плане

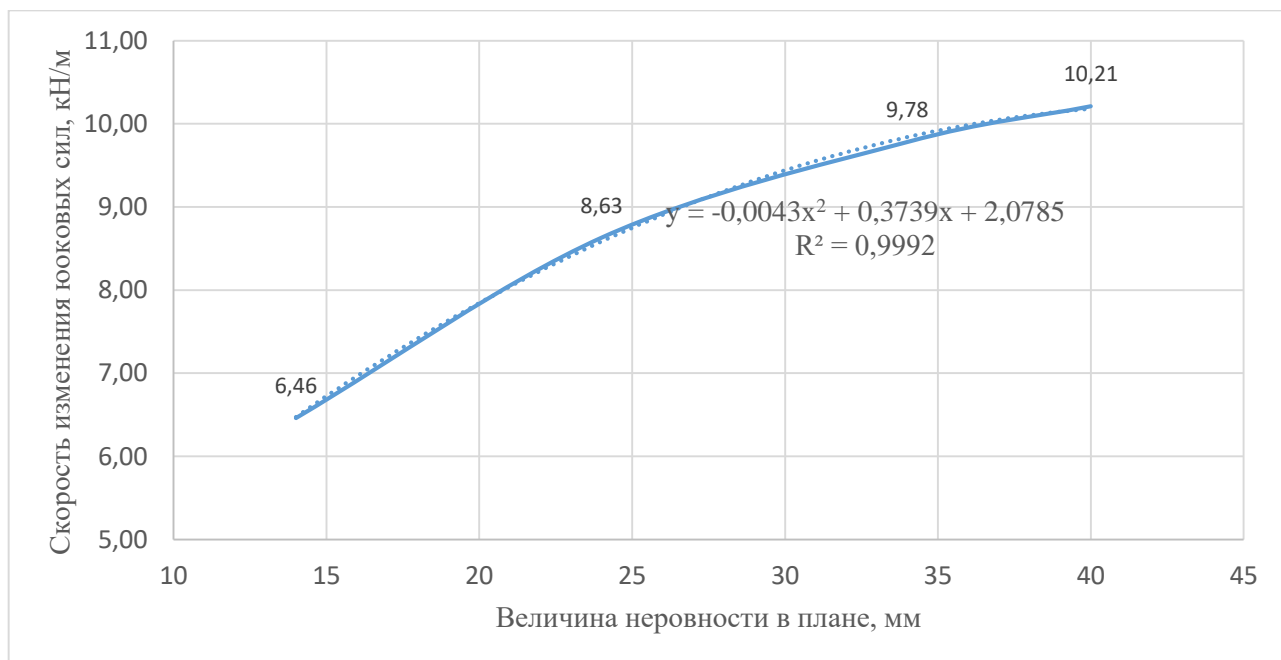


Рис.8. График зависимости скорости изменения боковых сил от величины неровности в плане

По рисунку 7 было получено полиномиальное уравнение 1 с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0.9993$ .

$$y = -22,685x^2 + 1981,5x + 11014 \quad (1)$$

Данное уравнение описывает изменения боковых сил в зависимости от величины неровности в плане.

С помощью графика, описывающего скорость изменения боковых сил в зависимости от величины неровности в плане было получено уравнение 2 с величиной достоверности аппроксимации  $R^2 = 0.9992$ .

$$y = -0,0043x^2 + 3739x + 2.0785 \quad (2)$$

### **Заключение**

Взаимодействие колеса подвижного состава и рельса является одной из важнейших проблем в области железнодорожного транспорта. Данная проблема возникает из-за повышения грузонапряженности и внедрение в эксплуатацию длинносоставных поездов. Также на развитие проблемы оказывает влияние отступлений состояния пути от норм, а именно изнашиваемость пути, появление неровностей в плане и профиле пути и т.д., и появление дефектов на частях колесной пары подвижного состава.

Влияние боковых сил в поперечном направлении приводит к появлению в пути дефекта 44.0. Данный дефект способствует быстрому изнашиванию рельсов, что может привести к их излому, а, следовательно, и к сходу подвижного состава.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что скорость изменения боковых сил напрямую зависит от величины неровности в плане.

По данным таблицы 1 видно, что при увеличении неровности на 10 мм для I, II и III степени отклонения скорость изменения боковых сил изменяется на 25% (при переходе с I степени ко II степени) и на 12% (со II степени к III степени). Это говорит о том, что при постоянном росте неровности в плане могут возникать боковые силы способные вызвать опрокидывание подвижного состава.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ромен Ю. С. Определение сил взаимодействия в системе колесо–рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса [Текст] / Ю. С. Ромен, О. А. Сулов, А. А. Балаяева // Вестн. ВНИИЖТ. – 2017. – Т. 76. – № 6. – С. 354–361.
2. Бромберг Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериго, В. Н. Данилов, М. А. Фришман // М. : Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.
3. Ершков О. П. Установление коэффициентов, учитывающих боковой изгиб и кручение рельсов [Текст] / О. П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 97. – М. : Трансжелдориздат, 1955. – С. 289–325.
4. Бржезовский А. М. Экспериментальная оценка взаимодействия экипажа и пути при скоростном и высокоскоростном движении : колл. монография [Текст] / А. М. Бржезовский, Д. Н. Аршинцев, О. Г. Бржезовская и др. // под ред. А. М. Бржезовского. – М. : РАС, 2019. – 152 с.
5. Ресельс А.П. Экспериментальное определение боковых сил в системе «колесо–рельс» при движении поездов по горно-перевальному участку [Текст] / А.П. Ресельс, Т.М. Баранов, Е.В. Филатов, Д.А. Ковенькин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: Изд-во ИрГУПС. – 2020. – Т. 65, № 1. – С. 75–84.
6. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках [Текст] / О. П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 264. – М. : Трансжелдориздат, 1963. – С. 39–98.

## REFERENCES

1. Romen, Yu. S. Determination of the interaction forces in the wheel-rail system based on the measurement of stresses in the rail neck [Text] / Yu. S. Romen, O.A. Suslov, A.A. Balyaeva // Vestn. VNIIZhT. - 2017. - T. 76. - No. 6. - pp. 354–361.
2. Bromberg E. M. Interaction of track and rolling stock [Text] / E. M. Bromberg, M. F. Verigo, V. N. Danilov, M. A. Frishman // М. : Transzheldorizdat, 1956. - 280 p.
3. Ershkov O. P. Establishment of coefficients that take into account lateral bending and torsion of rails [Text] / O. P. Ershkov // Proceedings of the Central Research Institute of MPS. - Issue. 97. - М. : Transzheldorizdat, 1955. - pp. 289-325.
4. Brzhezovsky A. M. Experimental assessment of the interaction of the crew and the path in high-speed and high-speed movement: call. monograph [Text] / A. M. Brzhezovsky, D. N. Arshintsev, O. G. Brzhezovskaya and others // ed. A. M. Brzhezovsky. - М. : RAS, 2019. - 152 p.
5. A.P. Resels, T.M. Baranov, E.V. Filatov, D.A. Kovenkin, Experimental determination of lateral forces in the "wheel–rail" system when trains move along the mountain-pass section [Text] / A.P. Resels, T.M. Baranov, E.V. Filatov, D.A. Kovenkin // Modern Technologies. System analysis. Modeling. – Irkutsk: Publishing House of IrGUPS. – 2020. – Vol. 65, No. 1. – pp. 75-84.
6. Ershkov O. P. Study of the rigidity of the railway track and its influence on the work of rails in curved sections [Text] / O. P. Ershkov // Proceedings of the TsNII MPS. - Issue. 264. - М. : Transzheldorizdat, 1963. - pp. 39–98.

### Информация об авторе

*Москвитина Анастасия Вячеславовна* – студент гр. СЖД 2-18-1, кафедра «Путь и путевое хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [15nastya20@gmail.com](mailto:15nastya20@gmail.com).

### Information about the author

*Moskvitina Anastasia Vyacheslavovna* – student gr. SZD 2-18-1, Department of Railways and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [15nastya20@gmail.com](mailto:15nastya20@gmail.com).