

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ БОКОВОЙ СИЛЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЗКОГО ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ КОЛЕИ

Аннотация. В ходе работы проводились расчеты для определения характера действия максимальных горизонтальных сил с учетом неисправности пути при движении в пределах переходной кривой. Анализ проводился с помощью программного комплекса «Универсальный механизм». Непосредственно для расчета использовался модуль *Um Loco*. В результате компьютерного моделирования была определена зависимость изменения скорости максимальных горизонтальных поперечных сил в момент прохождения подвижного состава по неровности путевой структуры. Данная неровность моделировалась в виде резкого изменения ширины рельсовой колеи в пределах переходной кривой. Установлено, что скорость изменения боковой силы в зависимости от резкого перепада шаблона возрастает при росте данного отклонения примерно в 1,3 раза. Также увеличивается амплитуда и период колебаний подвижного состава. Очевидно, что это приводит к возрастанию износа и к снижению срока службы, как элементов железнодорожного пути, так и элементов подвижного состава. Результат позволяет получить более достоверные данные о взаимодействии системы «колесо-рельс» при движении вагона в пределах переходной кривой и имеет важное прикладное значение при изучении взаимодействия пути и подвижного состава.

Ключевые слова: боковые силы, переходная кривая, изменение ширины колеи, характер движения подвижного состава

A.A. Podshivalova

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

DETERMINATION OF THE RATE OF CHANGE OF LATERAL FORCE DEPENDING ON A SHARP CHANGE IN TRACK WIDTH

Abstract. In the course of the work, calculations were carried out to determine the nature of the action of the maximum horizontal forces, taking into account the malfunction of the path when moving within the transition curve. The analysis was carried out using the "Universal Mechanism" software package. The *Um Loco* module was used directly for the calculation. As a result of computer modeling, the dependence of the change in the velocity of the maximum horizontal transverse forces at the time of the passage of the rolling stock along the unevenness of the track structure was determined. This unevenness was modeled in the form of a sharp change in the width of the rail track within the transition curve. It is established that the rate of change of the lateral force, depending on the sharp drop in the pattern, increases with the growth of this deviation by about 1.3 times. The amplitude and period of rolling stock fluctuations are also increasing. Obviously, this leads to an increase in wear and to a decrease in the service life of both the elements of the railway track and the elements of the rolling stock. The result allows us to obtain more reliable data on the interaction of the "wheel-rail" system when the car is moving within the transition curve and is of great practical importance in studying the interaction of the track and rolling stock.

Keywords: lateral forces, transition curve, track width change, rolling stock movement pattern

Введение

Безопасность следования поездов, бесперебойность и рентабельность работы железнодорожного транспорта существенно зависят от исправности подвижного состава и состояния пути.

Основная задача исследования динамических процессов в системе «вагон-путь» заключается в том, чтобы определить оптимальные значения и параметры этой системы, при которых снижаются колебания и динамические силы, отрицательно влияющие на конструкцию подвижного состава и пути [1].

В статье представлен расчет скорости изменения боковой силы в зависимости от резкого изменения ширины рельсовой колеи. Проблеме нестабильности ширины рельсовой колеи посвящено достаточно много работ, для анализа взяты работы [2-5].

При величине уклона отвода ширины колеи более 3‰ скорость движения подвижного

состава снижается [6]. При уклоне отвода ширины колеи более 5%, путь для движение поездов закрывается и принимаются меры к немедленному устранению неисправности пути. Резкое изменение ширины рельсовой колеи приводит к колебательным процессам подвижного состава, выраженными колебаниями вагона в поперечном направлении. Это может быть процесс виляния, боковая качка, относ кузова вагона. Такие колебательные процессы, в свою очередь, приводят к интенсивному неравномерному износу элементов верхнего строения пути и подвижного состава [7, 8].

В связи с этим была поставлена задача изучения процессов поведения подвижного состава при проезде по неровностям путевой структуры, выраженной в виде резкого, на протяжении 1 м, изменения ширины рельсовой колеи. Такую неисправность еще называют «резкий перепад шаблона».

В ходе работы проводились расчеты для определения характера действия максимальных горизонтальных сил с учетом неисправности пути при движении в пределах переходной кривой.

Анализ проводился с помощью программного комплекса «Универсальный механизм» (UM). Непосредственно для расчета использовался модуль Um Loco. С помощью данного модуля можно рассчитывать динамику рельсового экипажа в полной пространственной постановке, в том числе с учетом неровностей путевой структуры.

Исходные данные для расчета

Для моделирования был выбран грузовой вагон, который движется со скоростью 90 км/ч в кривом участке пути радиусом $R=1159$ м. Возвышение наружного рельса при данных параметрах с учетом рекомендуемого уклона отвода принято равным 90 мм. Переходные кривые имеют длину по 80 м каждая, нагрузка на ось для подвижного состава принималась 27,5 т/ось.

Модель пути и вагона, а также информация по исходным данным, представлена на рисунке 1.

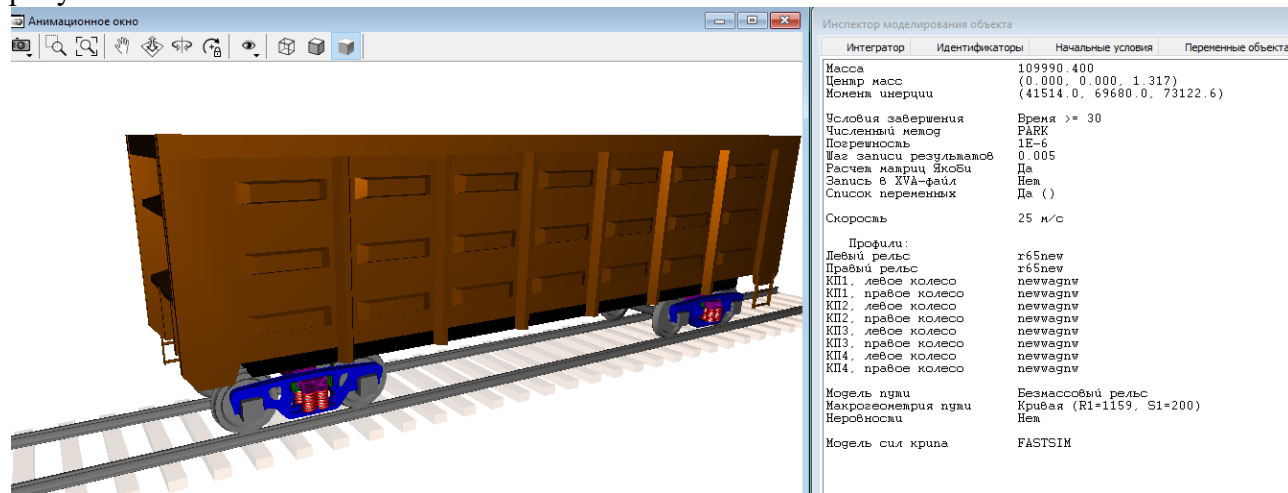


Рис.1. Модель вагона с исходными данными

Расчет проводится в несколько этапов. На каждом этапе моделировалась неровность путевой структуры в виде резкого отклонения ширины рельсовой колеи разных величин. Для расчета принимались следующие отклонения: резкое изменение ширины колеи величиной 3,5 %, 4 и 7 %. Специально была принята неровность более величины предельной неровности для прогнозирования поведения вагона в критической ситуации.

Пример модели неровности и ее формы представлен на рисунке 2.

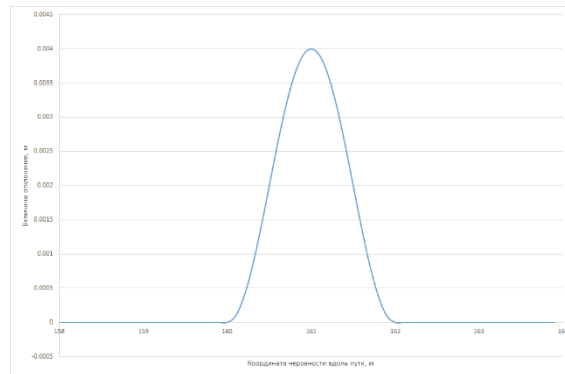


Рис.2. Модель неровности путевой структуры в виде резкого перепада шаблона

Неровность моделировалась в конце переходной кривой. Моделирование неровности в пределах переходной кривой выбрано не случайно. Это наиболее вероятный и реальный случай, который может быть при содержании железнодорожного пути. В качестве модели неровности принималась функция косинусоиды, соответствующая графику функции $y = H/2 * (1 - \cos x)$. Длина волны неровности принята, равной 2 м.

Результаты компьютерного моделирования

Компьютерное моделирование проводилось с использованием численного метода решения интегральных уравнений – метода Парка.

Результаты расчетов представлены в виде графических зависимостей.

На рисунке 3 показаны величины суммарных сил в поперечном направлении, изменяющихся во времени, в зависимости от параметров плана пути.

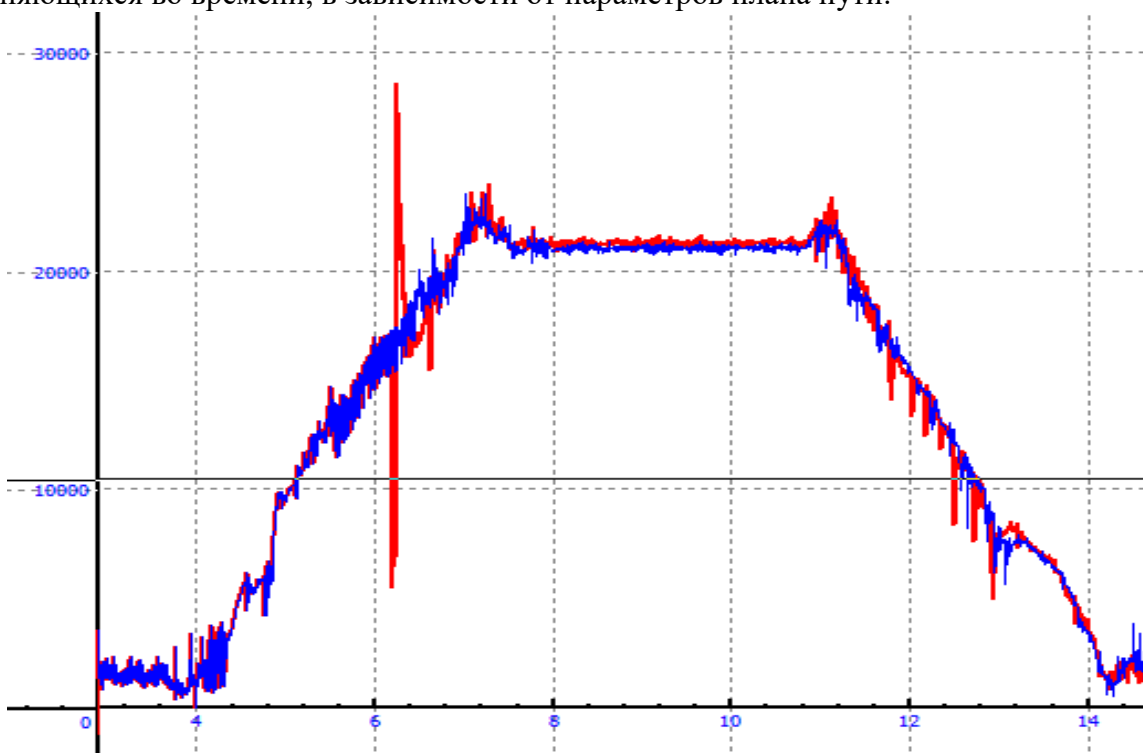


Рис.3. График зависимости возникновения суммарных сил в поперечном направлении при перепаде шаблона в 3,5 ‰

По оси ординат показана боковая сила в Н, по оси абсцисс – время в с. Синим цветом выделен график изменения боковых сил при проходе подвижного состава по исправному пути. Красным цветом отображен график изменения боковых сил с учетом неровности путевой структуры в виде резкого изменения ширины рельсовой колеи величиной 3,5 ‰. Отчетливо видно, что при проходе такого рода неровности происходит сначала резкое снижение, а затем

в доли секунды резкое увеличение боковой силы. Этот процесс свидетельствует о возникших поперечных колебаниях подвижного состава, которые продолжались еще в течение 2-3 с. Скорость изменения боковой силы в момент прохождения вагона по неровности составила 207 кН/с.

Аналогичным образом были проведены расчеты скорости изменения боковой силы при резких перепадах шаблона величиной 4 и 7‰. В результате расчетов скорость изменения боковой силы составила 231 кН/с и 267 кН/с соответственно.

На основании проведенного исследования характера движения подвижного состава с учетом резкого перепада шаблона, результаты были обобщены и представлены на рисунке 5.

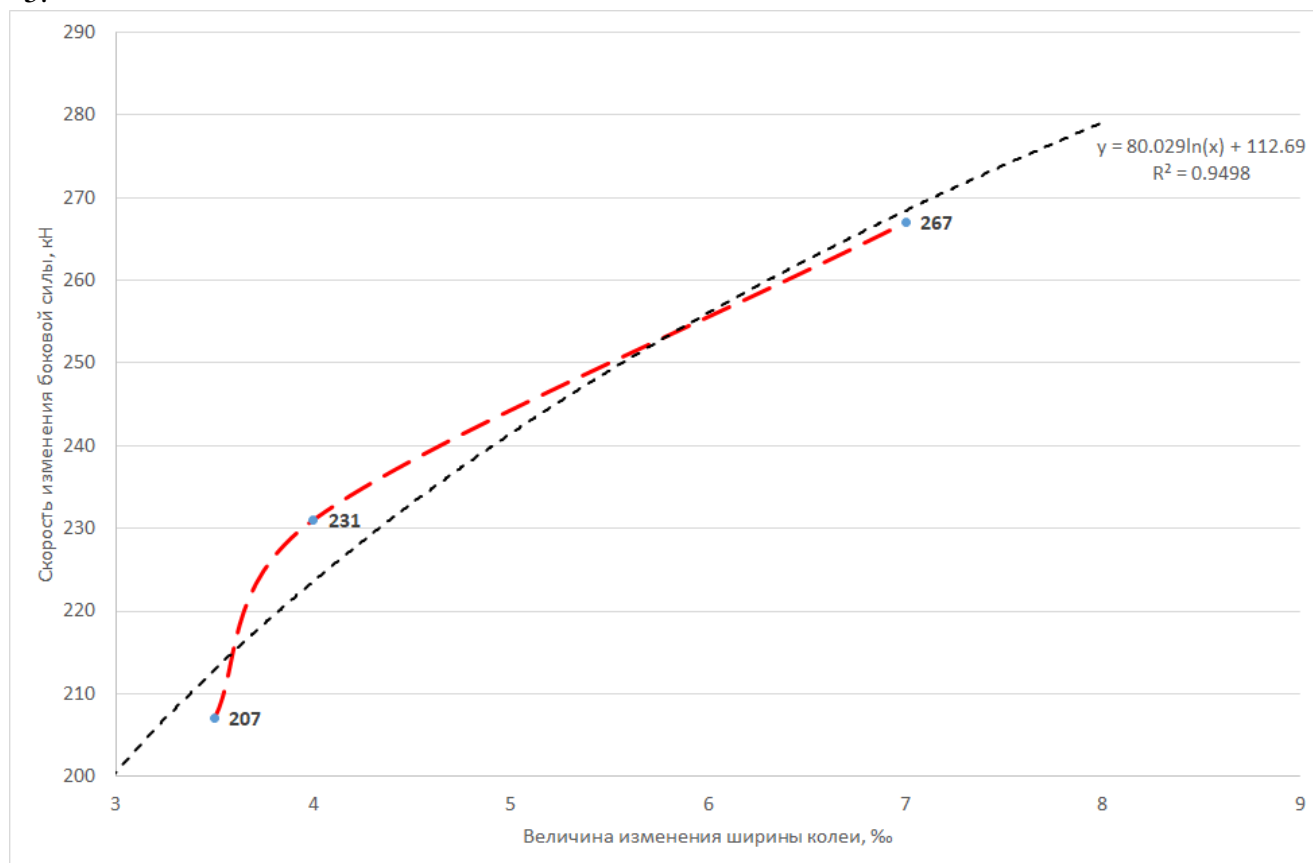


Рис.5. График зависимости скорости изменения боковой силы от резкого изменения ширины рельсовой колеи

Из результатов расчета, представленных на итоговом графике можно сделать некоторые выводы о характере движения подвижного состава и влиянии его на железнодорожный путь. Очевидно, что скорость изменения боковой силы в зависимости от резкого перепада шаблона возрастает при росте данного отклонения примерно в 1,3 раза. Также увеличивается амплитуда и период колебаний подвижного состава. Рост нагрузки происходит буквально за доли секунды.

Заключение

В результате компьютерного моделирования была определена зависимость изменения скорости максимальных горизонтальных поперечных сил в момент прохождения подвижного состава по неровности путевой структуры. Данная неровность моделировалась в виде резкого изменения ширины рельсовой колеи в пределах переходной кривой. Установлено, что скорость изменение боковой силы в зависимости от резкого перепада шаблона возрастает при росте данного отклонения примерно в 1,3 раза. Также увеличивается амплитуда и период колебаний подвижного состава. Очевидно, что это приводит к возрастанию износа и к снижению срока службы, как элементов железнодорожного пути, так и элементов подвижного состава. Результат позволяет получить более

достоверные данные о взаимодействии системы «колесо-рельс» при движении вагона в пределах переходной кривой и имеет важное прикладное значение при изучении взаимодействия пути и подвижного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковенькин, Д. А. Влияние вертикальных неровностей путевой структуры на характер движения подвижного состава [Текст] / Д.А. Ковенькин // Наука и образование транспорту – Самара : СамГУПС, 2017. № 2 – С. 100 – 102.
2. Насников Д.Н. Определение уширения рельсовой колеи в кривых малого радиуса с учетом жесткости пути и типа скрепления [Текст] / Д.Н. Насников, В.Е. Ефименко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона: материалы Десятой Междунар. науч.-практ. конф., 21 – 24 мая 2019 г. Иркутск : в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2019. – Т.1. – С.442-447.
3. Фришман, М.А. Как работает путь под поездами: учебник для вузов [Текст] / М.А. Фришман. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1975. – С. 176.
4. Ковенькин Д.А. Промежуточные скрепления на горно-перевальном участке [Текст] / Д.А. Ковенькин, Р.С. Купко // Путь и путевое хозяйство № 6 2014 г. Научно-популярный производственно-технический журнал – Москва, ОАО «РЖД» – С. 2-7.
5. Филатов Е.В. Определение перемещения головок рельса под воздействием подвижного состава [Текст] / Е.В. Филатов, А.П. Ресельс // Наука и образование транспорту – Самара : СамГУПС, 2019. № 2 – С. 167 – 170.
6. Ковенькин Д.А. Анализ скоростей движения поездов на ВСЖД [Текст] / Д.А. Ковенькин, Е.А. Садырин // Образование – наука – производство. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Чита, 2019. – С. 112-117.
7. Романова, О.В. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / О.В. Романова, В.Н. Боботкова – Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум», Курган: КИЖТ УрГУПС, 2017. – С. 27.
8. Филиппов, В.Н. Общее устройство колесных пар и их неисправности, угрожающие безопасности движения [Текст] / В.Н. Филиппов, И.В. Козлов, Т.Г. Курькина, Я.Д. Подлесников. – Учебно-методическое пособие. – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – С. 52.

PREFERENCE

1. Kovenkin, D. A. the Effect of vertical irregularities of the track structure on the nature of the movement of a rolling stock [Text] / D. A. Kovenkin // Science and education transportation – Samara : Samara state, 2017. No. 2 – S. 100 – 102.
2. Nasnikov D. N. Definition of the widening of the track in curves of small radius, taking into account the stiffness of the path and the type of bond [Text] / D. N. Nasnikov, V. E. Efimenko // Transport infrastructure of the Siberian region: proceedings of the Tenth Intern. nauch.-pract. Conf. 21 – 24 may 2019 Irkutsk : in 2 vols. - Irkutsk : IrGUPS, 2019. - Vol.1. - pp. 442-447.
3. Frishman, M.A. How the way works under trains: textbook for universities [Text] / M.A. Frishman– - 3rd ed., reprint. and additional - M.: Transport, 1975. - p. 176.
4. Kovenkin D. A. Intermediate bond on the mountain pass area [Text] / D. A. Kovenkin, R. S. Kupka // Path and track facilities № 6 2014 popular science technical and production journal, Moscow, JSC "Russian Railways" – S. 2-7.
5. Filatov, E. V. Determination of head movement of the rail under the influence of the rolling stock [Text] / E. V. Filatov, A. P. Resells // Science and education transportation – Samara : Samara state, 2019. No. 2 – Pp. 167 – 170.
6. Kovenkin D. A. Analysis of the velocities of the trains on the East-Siberian railway [Text] / D. A. Kovenkin, E. A. Sadyrin // Education – science – production. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. Chita, 2019. - pp. 112-117.
7. Romanova, O.V. Interaction of track and rolling stock [Text] / O.V. Romanova, V.N. Bobotkova - Materials of the X International Student Scientific Conference "Student Scientific

Forum", Kurgan: KIZHT UrGUPS, 2017. - p. 27.

8. Filippov, V.N. The general arrangement of wheelsets and their malfunctions that threaten traffic safety [Text] / V.N. Filippov, I.V. Kozlov, T.G. Kurykina, Ya.D. Podlesnikov. - Educational and methodical manual. - M.: RUT (МИТ), 2017. - p. 52.

Информация об авторах

Подшивалова Анастасия Алексеевна – студент группы СЖД.2-17-2, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: belozerova.1999@mail.ru

Information about the author

Podshivalova Anastasia Alekseevna – student of the SZD.2-17-2 group, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: belozerova.1999@mail.ru