

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

УДК 629.4

Е. П. БЛОХИН¹, М. Л. КОРОТЕНКО¹, И. В. КЛИМЕНКО^{1*}

^{1*}Отраслевая научно-исследовательская лаборатория динамики и прочности подвижного состава железных дорог, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 793 19 08, эл. почта irklmn@mail.ru

ОБ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ОТ СХОДА КОЛЕСА С РЕЛЬСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ЛИБО БОКОВОЙ СИЛЫ

Цель. Уточнение критериев безопасности от схода колеса с рельсов, в которых используется либо боковая, либо направляющая силы. **Методика.** Методика связана с анализом выражений критериев безопасности от схода колеса с рельсов, в которых используется боковая или направляющая силы в положении предельного равновесия системы, а также с анализом выражений для коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов при использовании указанных критериев. **Результаты.** Показано, что критерии безопасности от схода колеса с рельсов, представляющие собой либо отношение боковой силы к вертикальной, либо направляющей силы к вертикальной, действующие в точке контакта гребня набегающего колеса с головкой рельса, эквиваленты. В отношении коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов показано, что вблизи границы безопасности их использование дает практически одинаковые результаты. **Научная новизна.** Проведена детализация понятий критериев безопасности, использующих боковую или направляющую силы, и показана их эквивалентность. **Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют вместо двух выражений критериев безопасности, приводящихся в нормативной литературе, использовать одно из этих двух выражений, что дает ряд удобств при обработке результатов испытаний. Также даны рекомендации по использованию критериев, в которых используется отношение боковой или направляющей силы к вертикальной, действующих в точке контакта гребня набегающего колеса с головкой рельса.

Ключевые слова: критерий безопасности; сход колеса с рельсов; коэффициент запаса устойчивости; безопасность; сход

Введение

Еще в 1976 г. в работе [6] отмечалось, что до тех пор не было единого мнения, какое из отношений $\frac{Y_B}{P_1}$, $\frac{Y_H}{P_1}$, $\frac{Y_P}{P_1}$ горизонтальных поперечных сил, действующих на колесную пару, к вертикальной силе P_1 , действующей в точке контакта конической части гребня (при одностороннем контакте) с головкой рельса, следует

выбрать в качестве критерия безопасности колеса от схода с рельсов. Здесь через Y_B обозначена боковая сила в точке контакта гребня и головки рельса, через Y_H – направляющая сила, через Y_P – рамная сила, то есть горизонтальная поперечная сила, действующая на колесную пару со стороны рамы тележки.

Так, например, для оценки безопасности от схода колеса с рельсов для вагонов используется коэффициент запаса устойчивости от схода

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

колеса с рельсов, в который входит критерий безопасности (1) как отношение боковой силы Y_B к вертикальной P_1 , действующих в точке контакта гребня набегающего колеса с головкой рельса при односточном контакте [3]:

$$\frac{Y_B}{P_1} < \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} = \frac{\sin \beta - \mu \cos \beta}{\cos \beta + \mu \sin \beta}, \quad (1)$$

а для оценки безопасности движения локомотивов и моторвагонного подвижного состава используется коэффициент запаса устойчивости, в который входит критерий (2) как отношение направляющей силы Y_H к вертикальной P_1 [10, 11]:

$$\frac{Y_H}{P_1} < \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta + \mu} = \frac{\sin \beta}{\cos \beta + \mu \sin \beta}, \quad (2)$$

Здесь β – угол наклона образующей конической части гребня к горизонту; μ – коэффициент трения.

Цель

Цель данной работы – показать эквивалентность критериев безопасности от схода колеса с рельсов, в которых используется либо боковая, либо направляющая силы, а также провести анализ выражений для коэффициентов запаса устойчивости от схода колеса с рельсов, использующих указанные критерии.

Методика

Методика решения поставленной задачи связана с анализом выражений критериев безопасности от схода колеса с рельсов, в которых используется боковая или направляющая сила в положении предельного равновесия системы, а также с анализом выражений для коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов при использовании указанных критериев. Для этого используем известное соотношение [8]

$$Y_H = N_1 \sin \beta \quad (3)$$

и [1]

$$Y_H = Y_B + H_1, \quad (4)$$

где N_1 – нормальная реакция рельса в точке контакта; H_1 – проекция на горизонтальную ось силы трения T_1 в точке контакта набегающего колеса с рельсом.

Так как

$$T_1 = \mu \cdot N_1, \quad (5)$$

а

$$H_1 = T_1 \cos \beta = \mu N_1 \cos \beta, \quad (6)$$

то, используя (3), (4) и (6), получим

$$Y_B = N_1 (\sin \beta - \mu \cos \beta). \quad (7)$$

Подставив (7) в (1), выразим критерий безопасности (1) через нормальную силу N_1 :

$$\frac{N_1}{P_1} < \frac{1}{\cos \beta + \mu \sin \beta}. \quad (8)$$

Аналогично, подставив (3) в выражение критерия (2), получим:

$$\frac{N_1}{P_1} < \frac{1}{\cos \beta + \mu \sin \beta}, \quad (9)$$

то есть выражения критериев (1) и (2) приведены к одному и тому же выражению, что свидетельствует об их эквивалентности.

Иным путем это можно показать, если взять отношение выражений (3) и (7):

$$\frac{Y_H}{Y_B} = \frac{\sin \beta}{\sin \beta - \mu \cos \beta}, \quad (10)$$

из которого следует, что

$$Y_H = Y_B \frac{\sin \beta}{\sin \beta - \mu \cos \beta}. \quad (11)$$

Легко проверить, что подстановкой (11) в (2) можно получить критерий безопасности (1).

Из эквивалентности выражений критерия безопасности (1) и (2) следует, что для оценки безопасности движения подвижного состава от схода колеса с рельсов равнозначно применение и того, и другого выражения (1) или (2). Выбор одного из этих выражений для оценки безопасности движения подвижного состава от схода колеса с рельсов можно оценивать равнозначно по любому из них, и выбор того или

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

ного определяется удобством его использования, и нет смысла рассматривать эти критерии как независимые.

Для количественной оценки опасности схода колеса с рельса принято использовать коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельсов.

Для вагонов используют коэффициент запаса устойчивости, представляющий отношение в состоянии предельного равновесия перед скольжением колеса вниз относительно головки рельса теоретического значения боковой силы к вертикальной нагрузке на набегающем

колесе к его опытному значению [2-6, 9, 12–17]:

$$K_{y1} = \frac{\left(\frac{Y_6}{P_1}\right)_{\text{теор}}}{\left(\frac{Y_6}{P_1}\right)_{\text{оп}}} \quad (12)$$

Если выразить формулу (12) через динамические показатели конкретного вагона, то, как известно, эта формула примет вид:

$$K_{y1} = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \text{tg}\beta} \cdot \frac{P_1}{Y_6} = \frac{\text{tg}\beta - \mu}{1 + \mu \text{tg}\beta} \cdot \frac{2Q_{\text{ш}} \left[\frac{b-a_2}{\ell} (1-k_{\text{дв1}}) - \frac{b}{\ell} k_{\text{дв2}} \right] + Y_p \cdot \frac{r}{\ell} + q \cdot \frac{b-a_2}{\ell}}{Y_p + \mu \cdot \left\{ 2Q_{\text{ш}} \left[\frac{b-a_1}{\ell} (1-k_{\text{дв1}}) + \frac{b}{\ell} k_{\text{дв2}} \right] - Y_p \cdot \frac{r}{\ell} + q \cdot \frac{b-a_1}{\ell} \right\}} \quad (13)$$

где $Q_{\text{ш}}$ – сила тяжести обрессоренных частей вагона, действующая на шейку оси колесной пары; q – сила тяжести необрессоренных частей, приходящихся на колесную пару; $k_{\text{дв1}}$ – расчетное значение коэффициента вертикальной динамики экипажа; $k_{\text{дв2}}$ – расчетное значение коэффициента динамики боковой качки; $Y_p = k_{\text{дг}} \cdot P_{\text{ст}}$ – расчетное среднее значение рамной силы; $k_{\text{дг}}$ – коэффициента горизонтальной динамики; $P_{\text{ст}} = q + 2Q_{\text{ш}}$ – статическое давление колеса на рельс; $2b$ – расстояние между серединами шеек оси; ℓ – расчетное расстояние между средними точками контакта колес с рельсами; $a_{1,2}$ – расстояние от точек контакта до середин шеек; r – радиус среднеизношенного колеса.

Для локомотивов и моторвагонного подвижного состава используют коэффициент запаса устойчивости, представляющий отношение в состоянии предельного равновесия перед скольжением колеса вниз относительно головки рельса теоретического значения направляющего усилия к вертикальной нагрузке на набегающем колесе к его опытному значению [10]:

$$K_{y2} = \frac{\left(\frac{Y_H}{P_1}\right)_{\text{теор}}}{\left(\frac{Y_H}{P_1}\right)_{\text{оп}}} \quad (14)$$

или, после выражения формулы (14) через динамические показатели конкретного локомотива, эта формула примет вид [10]:

$$K_{y2} = \frac{1}{\text{ctg}\beta + \mu} \cdot \frac{P_1}{Y_H} = \frac{1}{\text{ctg}\beta + \mu} \cdot \frac{Q_{\text{ш}} \left[2(b-a_2) - k_{\text{дв1}}(\ell + a_1) + a_2 k_{\text{дв2}} \right] + Y_p \cdot r + q \cdot (b-a_2)}{\left(Y_p \cdot \ell + \mu \cdot \left\{ Q_{\text{ш}} \left[2(b-a_1) - k_{\text{дв2}}(\ell + a_2) + a_1 k_{\text{дв1}} \right] - Y_p \cdot r + q \cdot (b-a_1) \right\} \right) \cdot (1 + \mu \sin\beta \cos\beta) + q \cdot (b-a_2)} + \frac{q \cdot (b-a_2)}{\left\{ Q_{\text{ш}} \left[2(b-a_2) - k_{\text{дв1}}(\ell + a_1) + a_2 \cdot k_{\text{дв2}} \right] + Y_p \cdot r + q \cdot (b-a_2) \right\} \mu \cos^2\beta} \quad (15)$$

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

Результаты

Для анализа возможности использования формул (13) и (15) определим значения коэффициентов запаса устойчивости от схода колеса с рельсов по каждой из указанных формул для одного и того же локомотива при разных значениях его динамических параметров.

В качестве исходных данных возьмем данные магистрального грузо-пассажирского электровагона типа ДСЗ: $P_{ст} = 221$ кН, $q = 37$ кН, $\beta = 70^\circ$, $2b = 2,036$ м, $\ell = 1,58$ м, $a_1 = 0,264$ м, $a_2 = 0,219$ м, $r = 0,625$ м.

В первом варианте расчета рассматривается случай, когда берутся такие значения динамических параметров: коэффициенты вертикальной динамики в буксовой ступени подвешивания принимаются одинаковыми для набегающей и ненабегающей стороны колесной пары и их значения изменяются от 0 до 0,4. Коэффициент горизонтальной динамики берется постоянным и равным $[k_{дг}] = 0,4$ (допускаемое значение). Результаты расчетов представлены на рис. 1. Здесь по горизонтали отложены значения коэффициентов вертикальной динамики в буксовой ступени рессорного подвешивания, а по вертикали – значение коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов.

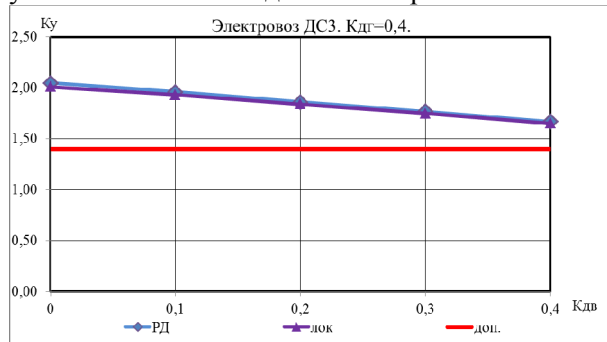


Рис. 1. Значения коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов, вычисленные по критерию с боковой силой (РД) и с направляющей силой (лок.) при изменении $k_{дв}$

Из рис. 1 видно, что значения коэффициентов запаса устойчивости от схода колеса с рельсов, вычисленные по формулам (13) и (15), достаточно близки, причем они имеют большие расхождения при больших значениях коэффициента запаса устойчивости, что мало существ-

венно для оценки безопасности движения от схода колеса с рельсов, а при меньших значениях K_y вблизи его допускаемых нормативными документами [10] значениях практически совпадают (расхождение составляет 1 %).

Во втором варианте расчета рассматривается случай, когда коэффициенты вертикальной динамики в буксовой ступени подвешивания принимаются одинаковыми для набегающей и ненабегающей стороны колесной пары и равными 0,4, а коэффициент горизонтальной динамики изменяется от 0 до 0,4. Результаты расчетов представлены на рис. 2.

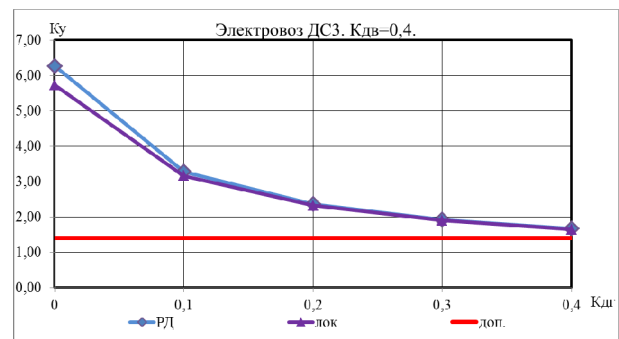


Рис. 2. Значения коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов, вычисленные по критерию с боковой силой (РД) и с направляющей силой (лок.) при изменении $k_{дг}$

Из рис. 2 видно, что значения коэффициентов запаса устойчивости от схода колеса с рельсов, вычисленные по формулам (13) и (15), также достаточно близки и имеют большие расхождения при больших значениях коэффициента запаса устойчивости, что мало существенно для оценки безопасности движения от схода колеса с рельсов, а при меньших значениях K_y вблизи его допускаемых нормативными документами [10] значениях также практически совпадают (расхождение составляет 1 %).

Научная новизна и практическая значимость

В работе проведена детализация понятий критериев безопасности от схода колеса с рельсов, использующих боковую или направляющую силы, и показана их эквивалентность.

Анализ возможностей применения критериев (1) и (2) в практике расчетов и эксперимен-

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

тов показал, что преимущества в этом отношении имеет критерий (1) по боковой силе. Эти преимущества заключаются в следующем.

1. В случае использования из опыта сил, действующих со стороны надрессорного строения на колесную пару, при использовании формулы (13), полученной на основании первого критерия, упрощается расчетная формула по сравнению с формулой (15) для расчета K_y , полученной по второму критерию, так как вычисление боковой силы по указанным данным проще, чем направляющей силы.

2. При использовании из опыта сил взаимодействия колеса и рельса в точке контакта непосредственно, например, с помощью тензометрической колесной пары, определяется боковая сила, значения которой прямо подставляются в формулу для оценки безопасности движения от схода колеса с рельсов без всяких пересчетов. А в том случае, когда используется формула, в которую входит направляющая сила, то для ее определения нужны дополнительные расчеты.

3. Упрощается сравнение данных испытаний по критерию (1) с данными, полученными при помощи европейских норм [19], так как в этих нормах используется критерий безопасности движения от схода колеса с рельсов, связанный с боковой силой.

Выводы

1. Показана эквивалентность критериев безопасности от схода колеса с рельсов, полученных с использованием либо боковой, либо направляющей сил.

2. Из рассмотренных двух эквивалентных критериев в качестве критерия безопасности от схода колеса с рельсов целесообразно выбрать критерий (1), представляющий отношение боковой силы к вертикальной в точке контакта гребня набегающего колеса с головкой рельса.

3. Результаты расчета, выполненные по формулам (13) и (15), практически совпадают. Поэтому нет смысла иметь две формулы для оценки безопасности и использовать для оценки степени безопасности разного типа подвижного состава единую формулу. При этом целесообразно использовать формулу для определения коэффициента запаса устойчивости, по-

лученную на основании критерия безопасности от схода колеса с рельсов, в которую входит боковая сила.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бирюков, И. В. Механическая часть тягового подвижного состава / И. В. Бирюков, А. Н. Савоськин, Г. П. Бурчак ; под ред. И. В. Бирюкова. – М. : Транспорт, 1992. – 440 с.
2. Блохин, Е. П. Динамика скоростного электровоза ДСЗ / Е. П. Блохин, А. Н. Пшинько, М. Л. Коротенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2004. – Вип. 5. – С. 9–12.
3. Блохин, Е. П. К вопросу зависимости коэффициента запаса устойчивости против схода колеса с рельса от горизонтальных поперечных ускорений пола в шкворневом сечении пассажирского вагона / Е. П. Блохин, С. В. Мямлин // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2011. – № 12 (166). – Ч. 1. – С. 237–248.
4. Дьомін, Р. Ю. До способів оцінювання динамічної взаємодії коліс і рейок / Р. Ю. Дьомін, А. В. Мостович, Ю. В. Щербина // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 5 (147). – Ч. 1. – С. 27–31.
5. Коган, А. Я. Оценка достаточного условия устойчивости колеса на рельсе с учетом вероятностного характера влияющего на нее некоторых факторов / А. Я. Коган, Е. А. Черняков // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 2. – С. 36–41.
6. Кондрашов, В. М. Единые принципы исследования динамики железнодорожных экипажей в теории и эксперименте / В. М. Кондрашов. – М. : Интекст, 2001. – 190 с.
7. Кондрашов, В. М. Критерий устойчивости экипажа против схода с рельсов / В. М. Кондрашов // Труды ЦНИИ МПС. – М., 1976. – Вып. 548 – С. 75–86.
8. Медель, В. Б. Взаимодействие электровоза и пути / В. Б. Медель. – М. : Трансжелдориздат, 1956. – 335 с.
9. Мямлин, С. В. САПР железнодорожных вагонов. Алгоритм подсистемы «подбор автосцепного оборудования» / С. В. Мямлин, Е. П. Блохин, Е. Ф. Федоров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 30. – С. 165–172.
10. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов ж. д. МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

11. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств моторвагонного подвижного состава ж. д. МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : МПС РФ, ВНИИЖТ, 1997. – 147 с.
12. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / [У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландгрэн, Х. Турне, В. Эберсен. ; пер. с англ. С. М. Захаров, С. С. Карцев, В. Л. Мельников, Б. М. Райсин]. – М. : Интекст, 2002. – 408 с. ; 1 электрон. опт. диск.
13. Погорелов, Д. Ю. Показатель для оценки опасности схода подвижного состава путем вкатывания колеса на головку рельса / Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 5 (147). – Ч. I. – С. 64–70.
14. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – М. : ГосНИИВ, 1995. – 101 с.
15. Туранов, Х. Т. Построение расчетной модели колесной пары вагона от вкатывания при движении подвижного состава по кривому участку пути / Х. Т. Туранов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 10 (152). – Ч. 2. – С. 196–204.
16. Elkins, J. New Criteria for Flange Climb Derailment / J. Elkins, Wu. Huimun // ASME/IEEE Joint Railroad Conference (4–6 April, 2000). – Newark, 2000. – P. 1–7.
17. Guangxiong, Ch. A New Method for Evaluation of Wheel Climb Derailment / Chen Guangxiong, Jin Xincan // ASME/IEEE Joint Railroad Conference (4–6 April, 2000). – Newark, 2000. – P. 9–13.
18. UIC Code 518 : 2009. Testing and approval of railway vehicles from the point at view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Ride quality. 3-d ed. Paris October 2005.

Є. П. БЛОХІН¹, М. Л. КОРОТЕНКО¹, І. В. КЛИМЕНКО^{1*}

^{1*}Галузева науково-дослідна лабораторія динаміки і міцності рухомого складу залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 793 19 08, ел. пошта irklmn@mail.ru

ПРО ЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ КРИТЕРІЇВ БЕЗПЕКИ ВІД СХОДУ КОЛЕСА З РЕЙОК ПРИ ВИКОРИСТАННІ НАПРЯМНОЇ АБО БІЧНОЇ СИЛИ

Мета. Уточнення критеріїв безпеки від сходу колеса з рейок, у яких використовується або бічна, або напрямна сили. **Методика.** Методика пов'язана з аналізом виразів критеріїв безпеки від сходу колеса з рейок, у яких використовується бічна або напрямна сили в положенні граничної рівноваги системи, а також з аналізом виразів для коефіцієнта запасу стійкості від сходу колеса з рейок при використанні зазначених критеріїв. **Результати.** Показано, що критерії безпеки від сходу колеса з рейок, що представляють собою або відношення бічної сили до вертикальної, або напрямної сили до вертикальної, що діють у точці контакту гребеня колеса, що набігає, з головкою рейки, еквіваленти. Відносно коефіцієнта запасу стійкості від сходу колеса з рейок показано, що поблизу границі безпеки їх використання дає практично однакові результати. **Наукова новизна.** Проведено деталізацію понять критеріїв безпеки, що використовують бічну або напрямну сили, і показано їхню еквівалентність. **Практична значимість.** Одержані результати дозволяють замість двох виразів критеріїв безпеки, що приводяться в нормативній літературі, використовувати один із цих двох виразів, що дає ряд зручностей при обробці результатів випробувань. Також дані рекомендації з використання критеріїв, в яких використовується відношення бічної або напрямної сили до вертикальної, що діють в точці контакту гребеня набігаючого колеса з головкою рейки.

Ключові слова: критерій безпеки; схід колеса з рейок; коефіцієнт запасу стійкості; безпека; схід

Ye. P. BLOKHIN¹, M. L. KOROTENKO¹, I. V. KLIMENKO^{1*}

^{1*}Branch Research Laboratory of the Dynamics and Strength of Railway Rolling Stock, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str. 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 793 19 08, e-mail irklmn@mail.ru

ON THE EQUIVALENCE OF SAFETY CRITERIA OF THE WHEELS DERAILMENT FROM THE RAILS WHEN USING THE DIRECTING OR LATERAL FORCE

Purpose. Clarification of safety criteria of the wheels derailment from the rails using either the lateral or the directing force. **Methodology.** Technique is connected with the analysis of safety criteria expressions of the wheels derailment from the rails, which use the lateral or the directing force in the position of limit equilibrium of the system, as well as with the analysis of expressions for the coefficient of stability from the wheels derailment from the rails when using the specified criteria. **Findings.** It is shown that the safety criteria of derailment, representing either the ratio of the lateral force to vertical one or the directing force ratio to the vertical one, which operate in the contact point of the climbing wheel flange with the rail head, are equivalent. As for the stability coefficient of derailment, it is shown that near to the safety limit their use yields almost the same results. **Originality.** The concept of the safety criteria, using the lateral or directing forces is specified and their equivalence is shown. **Practical value.** Obtained results allow one to use one of these two safety criteria expressions instead of two expressions cited in the normative literature, which gives the number of advantages for the processing of testing results. And the recommendations on the use of criteria, in which the ratio of lateral or directing forces to the vertical force acting in the contact point of the climbing wheel flange with the rail head were given.

Keywords: safety criteria; derailment of wheels from the rails; stability coefficient; safety; derailment

REFERENCES

1. Biryukov I.V., Savoskin A.N., Burchak G.P. *Mekhanicheskaya chast tyagovogo podvizhnogo sostava* [Mechanical portion of the traction rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1992. 440 p.
2. Blokhin Ye.P., Pshinko A.N., Korotenko M.L. Dinamika skorostnogo elektrovoza DS3 [Dynamics of the high-speed locomotive DS3]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryan], 2004, issue 5, pp. 9-12.
3. Blokhin Ye.P., Myamlin S.V. K voprosu zavisimosti koeffitsienta zapasa ustoychivosti protiv skhoda koleasa s relsa ot gorizontalnykh poperechnykh uskoreniiy pola v shkvornevom sechenii passazhirskogo vagona [To the question of dependency of derailment coefficient on the horizontal transverse acceleration]. *Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2011, no. 12 (166), Part 1, 237-248.
4. Domin R.Yu., Mostovych A.V., Shcherbyna Yu.V. Do sposobiv otsiniuvannya dynamichnoi vzaemodii kolis i relok [To the ways of evaluation of the dynamic interaction between wheels and rails]. *Visnyk Shkhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2010, no. 5 (147), Part I, pp. 27-31.
5. Kogan A.Ya., Chernyakov Ye.A. Otsenka dostatochnogo usloviya ustoychivosti koleasa na relse s uchetom veroyatnostnogo kharaktera vliayushchego na neye nekotorykh faktorov [Evaluation of sufficient condition of the wheel stability on the rail, taking into account the probabilistic nature of some factors influencing it]. *Vestnik VNIIZhT – VNIIZhT Bulletin*, 2008, no. 2, pp. 36-41.
6. Kondrashov V.M. *Yedinyye printsipy issledovaniya dinamiki zheleznodorozhnykh ekipazhey v teorii i eksperimente* [Common principles of study of the railway vehicles dynamics in theory and experiment]. Moscow, Intekst Publ., 2001. 190 p.
7. Kondrashov V.M. Kriteriy ustoychivosti ekipazha protiv skhoda s relsov [Stability criterion of the vehicle against derailment]. *Trudy TsNII MPS. – Proceedings of Central Research Institute of the Ministry of Communications*, 1976, issue 548, pp. 75-86.
8. Medel V.B. *Vzaimodeystviye elektrovoza i puti* [Interaction of the electric locomotive and the track]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1956. 335 p.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ

9. Myamlin S.V., Blokhin Ye.P., Fedorov Ye.F. SAPR zheleznodorozhnykh vagonov. Algoritm podsystemy «podbor avtostsepnogo oborudovaniya» [The computer-aided design of the railway cars. Algorithms of the subsystem «selection of auto coupling equipment»]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryn], Dnipropetrovsk, 2009, issue 30, pp. 165-172.
10. *Normy dlya rascheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov, dinamicheskikh kachestv i vozdeystviya na put ekipazhnoy chasti lokomotivov zh. d. MPS RF kolei 1520 mm* [Standards for calculating and assessing the strength of supporting elements, dynamic qualities and impact on the track of the locomotive under frame of the Ministry of Railways of the 1520 mm track]. Moscow, MPS RF, VNIIZhT Publ., 1998. 145 p.
11. *Normy rascheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv motorvagonnogo podvizhnogo sostava zh. d. MPS RF kolei 1520 mm* [Standards of calculating and assessing the strength of supporting elements and the dynamic qualities of multiple unit of the Ministry of Railways of the 1520 mm track]. Moscow, MPS RF, VNIIZhT Publ., 1997. 147 p.
12. Kharris U. Dzh., Zakharov S.M., Landgren Dzh., Turne Kh., Ebersen V. *Obobshcheniye peredovogo opyta tyazhelovestnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya kolea i relsa* [Generalization of the advanced experience of the heavy-weight traffic: problems of interaction between wheel and rail]. Moscow, Intekst Publ., 2002. 408 p.
13. Pogorelov D.Yu., Simonov V.A. Pokazatel dlya otsenki opasnosti skhoda podvizhnogo sostava putem vkatyvaniya kolea na golovku relsa [The indicator for assessing the risk of rolling stock derailment by wheel mounting on the rail head]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2010, no. 5 (147), Part I, pp. 64-70.
14. *RD 24.050.37-95. Vagony gruzovyye i passazhirskyye. Metody ispytaniy na prochnost i khodovyye kachestva* [RD 24.050.37-95. Freight and passenger cars. Strength tests methods and running qualities]. Moscow, GosNIIV Publ., 1995. 101 p.
15. Turanov Kh.T. Postroyeniye raschetnoy modeli kolesnoy pary vagona ot vkatyvaniya pri dvizhenii podvizhnogo sostava po krivomu uchastku puti [Design model construction of the car wheel set from the mounting during the rolling stock movement in the curved track section]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl], 2010, no. 10 (152), Part 2, pp. 196-204.
16. Elkins J., Huimun Wu. New Criteria for Flange Climb Derailment. ASME/IEEE Joint Railroad Conference. Newark, 2000, pp. 1-7.
17. Guangxiong Ch., Xincan Jin. A New Method for Evaluation of Wheel Climb Derailment. ASME/IEEE Joint Railroad Conference. Newark, 2000, pp. 9-13.
18. UIC Code 518:2009. Testing and approval of railway vehicles from the point at view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Ride quality. 3-d ed. Paris, October, 2005.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., ст. науч. сотрудником Н. А. Радченко (Україна); д.т.н., проф. В. Л. Горобцом (Україна)

Поступила в редколлегию 05.04.2013

Принята к печати 18.06.2013