

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАДАЛЯ

У роботі запропоновано графічне представлення критерію Надаля.
Ключові слова: безпека руху, сходження, сходження колеса з рейки

В работе предложено графическое представление критерия Надаля.
Ключевые слова: безопасность движения, сход, сход колеса с рельса

A graphical representation of the Nadal's criterion is proposed in the paper.
Keywords: traffic safety, wheelset derailment

Как известно, критерий Надаля [1, 2] устанавливает соотношение между приложенными к колесу горизонтальной поперечной Y и вертикальной Q силами, при котором опирающееся в одной точке гребнем о головку рельса колесо будет скользить вниз, обеспечивая недопущение схода путем всползания колеса на рельс (рис. 1), т.е.

$$\frac{Y}{Q} < \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta}, \quad (1)$$

или

$$\frac{Y}{Q} < \operatorname{tg}(\beta - \varphi), \quad (2)$$

где β – угол между образующей конической части гребня и горизонталью; μ – коэффициент трения гребня о головку рельса; φ – угол трения ($\operatorname{tg} \varphi = \mu$); $F_{\text{тр}} = \mu N$ – сила трения; N – нормальная реакция.

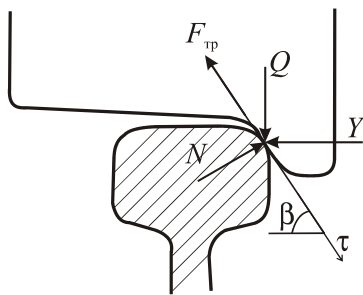


Рис. 1. Силы, действующие в точке контакта при скольжении гребня вниз относительно головки рельса

Помимо аналитических выражений представляет интерес рассмотреть графические представления, связанные с упомянутым выше критерием. Для этого рассмотрим прямоугольную систему координат, в которой соответственно по горизонтали и вертикали отложены силы Y и Q .

Предварительно рассмотрим состояние предельного равновесия системы сил перед скольжением колеса вниз. При этом сумма проекций на направление образующей конической части гребня $Q \sin \beta - Y \cos \beta$ должна быть больше нуля и направлена вниз, а сила трения $\mu(Q \cos \beta + Y \sin \beta)$ направлена вверх. При этом

$$Q \sin \beta - Y \cos \beta = \mu(Q \cos \beta + Y \sin \beta). \quad (3)$$

Из (3) следует соотношение

$$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{\text{равн.}} = \operatorname{tg}(\beta - \varphi). \quad (4)$$

Если из начала координат провести линию OA под углом $(\beta - \varphi)$ к вертикальной оси (рис. 2), то все принадлежащие ей точки будут удовлетворять условию (4)

Любое сколь угодно малое уменьшение величины $\frac{Y}{Q}$ по сравнению с $\operatorname{tg}(\beta - \varphi)$ (тогда $Y/Q < \operatorname{tg}(\beta - \varphi)$) вызывает срыв трения и скольжение гребня вниз. Т.е. точки, расположенные слева от линии OA , будут соответствовать неравенствам (1) и (2) и представлять зону безопасности от схода по Надалю.

Если отложить от вертикальной оси по часовой стрелке угол $(\beta + \varphi)$ и провести линию OC , то она будет геометрическим местом точек, для которых отношение $\frac{Y}{Q}$ соответствует второму состоянию предельного равновесия перед движением колеса вверх относительно головки рельса (сумма проекций активных сил направлена вверх, а сила трения направлена вниз)

$$\frac{Y}{Q} = \operatorname{tg}(\beta + \varphi). \quad (5)$$

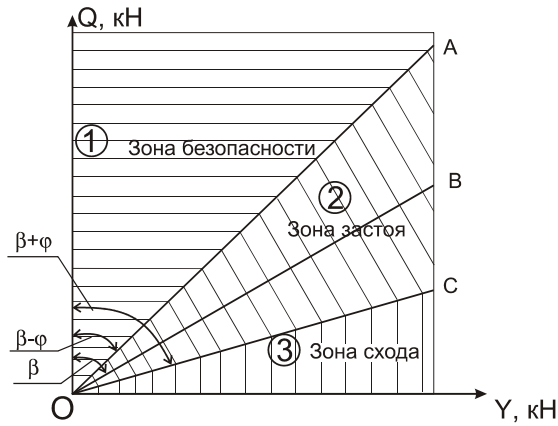


Рис. 2. Зоны безопасности от схода, застоя и схода колеса с рельса в плоскости YOQ

При любом сколь угодно малом превышении значения Y/Q над указанным в (5) произойдет срыв трения, и начнется скольжение вверх, т.е. процесс схода. Поэтому все точки справа от линии OC будут соответствовать зоне схода колеса с рельса.

Точки, расположенные между линиями OA и OC, соответствуют зоне застоя [3]. В этой зоне сумма проекций действующих на колесо активных сил на образующую поверхности гребня меньше максимальной величины соответствующей силы трения, и колесо находится в равновесии. Ширина зоны застоя, естественно, зависит от величины коэффициента трения μ , а при отсутствии трения ($\mu = 0$) превращается в линию OB. При этом зона схода непосредственно примыкает к зоне безопасности.

В этом смысле указанная область застоя аналогична плоскому сечению конуса трения с осью, составляющей угол β с осью OQ.

Подход, предложенный Надалем, достаточно широко используется для оценки безопасности от схода подвижного состава железных дорог. Так, в европейских нормах [4] в качестве допустимой величины с точки зрения схода колеса с рельса используется соотношение

$$\frac{Y}{Q} = 0,8. \quad (6)$$

Если на диаграмме (рис. 3) отложить от оси OQ угол $\varphi_1 = \arctg 0,8 \cong 39^\circ$, то между этой прямой и вертикалью получим область допустимых значений Y/Q по этому критерию.

Предпосылки постановки задачи Надаля используются также и в «Нормах расчета и проектирования вагонов...» [5]. Для оценки степе-

ни безопасности колес вагонов от схода вводится коэффициент запаса устойчивости от схода колеса с рельсов K_{yc} :

$$K_{yc} = \frac{\left(\frac{Y}{Q}\right)_{равн.}}{\left(\frac{Y}{Q}\right)_{расч.}}, \quad (7)$$

где $\left(\frac{Y}{Q}\right)_{равн.} = \tg(\beta - \varphi)$ относится к состоянию

предельного равновесия перед скольжением гребня колеса вниз по головке рельса;

$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{расч.}$ – отношение горизонтальной силы к

вертикальной в точке контакта, причем эти силы определяются как суммы приведенных к точке контакта сил, приложенных к колесной паре, вертикальных динамических сил, действующих на шейки колесной пары (статических сил и динамических добавок) и веса колесной пары, и горизонтальных – рамной силы и силы трения в точке опирания на рельс ненабегающего колеса. Исходя из допустимой величины $[K_{yc}]$ можно из (7) найти допустимое отношение $[Y/Q]$

$$\left[\frac{Y}{Q}\right] = \frac{\tg(\beta - \varphi)}{[K_{yc}]}. \quad (8)$$

Используя то, что в [5] для грузовых вагонов $[K_{yc}] = 1,3$, а для пассажирских $[K_{yc}] = 1,6$ и то, что для вагонов $\beta = 60^\circ$, а обычно принимают $\mu = 0,25$, откуда $\varphi = \arctg 0,25 \cong 14^\circ$, а $\tg(\beta - \varphi) = 1,03$, можно найти

$$\left[\frac{Y}{Q}\right]_{гр.} = \frac{1,03}{1,3} = 0,79,$$

$$\left[\frac{Y}{Q}\right]_{пасс.} = \frac{1,03}{1,6} = 0,64.$$

При этом если $\tg \varphi_{гр.} = 0,79$ и $\tg \varphi_{пасс.} = 0,64$, то $\varphi_{гр.} \cong 38^\circ$ и $\varphi_{пасс.} \cong 33^\circ$. Тогда, если провести из начала координат лучи под углами $\varphi_{гр.}$ и $\varphi_{пасс.}$ к вертикали, то области допустимых отношений Y/Q (включая границы) для грузовых и пассажирских вагонов можно получить меж-

ду вертикальной осью и соответствующими лучами.

На рис. 3 для грузовых и пассажирских вагонов приведены расположенные между соответствующими лучами зоны безопасности $OQ-OA$, зона застоя $OA-OC$, зона схода $OC-OY$, а также области допустимых значений параметров: для европейских норм – $OQ-OE$; для грузовых вагонов по нормам [5] – $OQ-OG$, для пассажирских вагонов – $OQ-OP$.

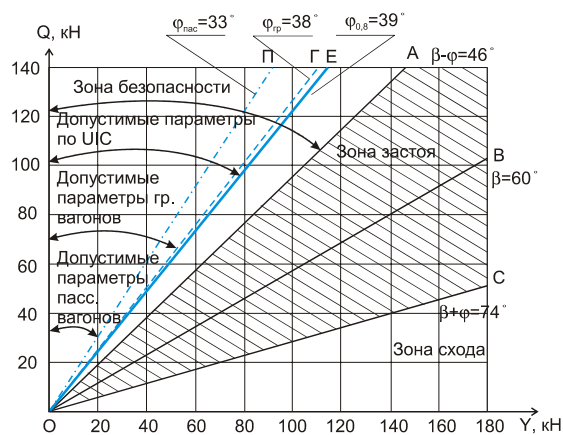


Рис. 3. Допускаемые значения горизонтальной поперечной Y и вертикальной Q сил, действующих в точке контакта с точки зрения допускаемых величин коэффициента запаса устойчивости от схода колеса с рельсов

Сравнение полученных областей показывает, что они достаточно близки для европейских норм и норм СНГ. При этом для европейских норм область допустимых значений Y/Q несколько шире, чем для норм СНГ.

Таким образом, из рис. 2 и 3 видно, что зона безопасности отделена от зоны схода зоной застоя (равновесия). Авторы статьи [6] вполне справедливо отмечают, что нельзя утверждать, что когда будет нарушено условие Надаля $\frac{Y}{Q} < \text{tg}(\beta - \varphi)$, то сразу начнется процесс взползания гребня колеса вверх по рельсу.

Связано это с тем, что при этом сумма проекций активных сил на образующую окажется меньше наибольшей величины силы трения, и система окажется в положении равновесия или в зоне застоя, как это видно из рис. 2, 3.

Видимо, этим и объясняется упомянутое в работе [6] со ссылкой на источники [7], [8] от-

меченное в некоторых опытах отсутствие схода с рельсов при невыполнении критерия Надаля.

Выводы

1. Предложено графическое представление критерия Надаля.
2. Проведена некоторая детализация положений, касающихся оценки безопасности от схода колес с рельсов подвижного состава железных дорог, в указанной выше постановке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nadal, M. J. Locomotives a Vapeur Collection Encyclopedie Scintifique Biblioteque de Mecanique Applique et Genie [Text] / M. J. Nadal. – Vol. 186. – Paris, 1908.
2. Черкашин, Ю. М. Сравнение некоторых критериев, оценивающих опасность схода путем взползания колеса на рельс [Текст] / Ю. М. Черкашин, Д. Ю. Погорелов, В. А. Симонов // Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2005. – С. 98-103.
3. Блохин, Е. П. К постановке задачи об оценке степени безопасности колесных пар от схода с рельсов [Текст] / Е. П. Блохин, М. Л. Коротенко, И. В. Клименко / Вісник СХУ ім. В. Даля. – 2010. – № 9 (151). – Ч. 2. – С. 6-10.
4. UIC Code 518. Testing and approval of railway vehicles from the point at view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Ride quality [Text]. – 3-rd ed. – October 2005.
5. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 346 с.
6. Винник, Л. В. Замечания по поводу использования критерия Надаля при оценке безопасности схода с рельс [Текст] / Л. В. Винник, Г. П. Бурчак // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2005. – № 8 (90). – С. 108-113.
7. Gilchrist, A. O. A reexamination of the proneness to derailment of a railway wheel-set [Text] / A. O. Gilchrist, B. V. Brickle // J. of Mech. Engineering Science. – 1976. – Vol. 18, No. 3. – P. 134-141.
8. Blader, F. B. Assessing Proximity to Derailment from Wheel/Rail Forces [Text] / F. B. Blader // A Review of the State of the Art, ASME paper, Winter Annual Meeting. – November 1989.

Поступила в редколлегию 03.06.2010.
Принята к печати 21.06.2010.