УДК 625. 031

Геннадій Пугачов
0лександр Загородній

ВЗАЄМОДІЯ КОЛІСНОЇ ПАРИ З РЕЙКОЮ У КРИВИХ. УМОВА НЕДОПУЩЕННЯ ВКОЧЕННЯ ГРЕБЕНЯ НА РЕЙКУ

В статті на основі розгляду відношень між геометричними параметрами гребеня і діючими на колесо силами встановлені аналітичні вирази для двох випадків поведінки колісної пари: її вкочування на рейку (підйом колеса) і переходу точки контакті в напрямку підстави гребеня (опускання колеса). Стаття супроводжується чисельними розрахунками граничних значень бічної сили залежно від кута нахилу гребеня.

В статье на основе рассмотрения отношений между геометрическими параметрами гребня и действующими на колесо силами установлены аналитические выражения для двух случаев поведения колесной пары: ее вкатывания на рельс (подъем колеса) и перехода точки контакта в направлении основания гребня (опускание колеса). Статья сопровождается численными расчетами граничних значений боковой силы в зависимости от угла наклона гребня.

In the article on the basis of consideration of relations between the geometrical parameters of comb and operating on a wheel forces analytical expressions are set for two cases of conduct of wheelpair: its rolling into on a rail (I pod'em wheels) and transition of point of contact in the direction of foundation of comb (lowering of wheel). The article is accompanied the numeral calculations of granichnikh values of lateral force depending on the angle of slope of comb.

Ключові слова: гребінь, рейка, бічна сила

Постановка проблеми

Поведінка колеса при проходженні кривої дільниці колії під дією бічної сили ($Y_б$) і вертикального навантаження колеса (П) пов'язана з питаннями безпеки руху. Розглянемо дві ситуації поведінки колеса під дією вказаних сил.

Ситуація перша відповідає ефекту вкочування колеса на рейку, тобто підйому колеса відносно рейки з подальшим сходженням його (рис., схема а).

Ситуація друга стосується опускання колеса з послідовним переходом точки контакту колеса з рейкою у напрямку підстави гребеня (рис., схема б).

Задача полягає у визначенні бічної сили, яка б відповідала вказаним ситуаціям залежно від навантаження колеса і геометричних параметрів гребеня.

Розглянемо сили, які діють на колесо. З одного боку, це зовнішні сили навантаження колеса (П) і бічна сила ($Y_б$), що забезпечує повертання візку у кривій. З другого боку, це реактивні сили від рейки, це сила нормального тиску (N), перпендикулярна до поверхні гребеня, і сила тертя (T), спрямована вздовж поверхні бандажа.

© Пугачов Г. С., Загородній О. П., 2013

Остання (сила тертя) спрямована у бік, протилежний напрямку переміщення поверхні гребеня відносно рейки. Тому, при укочуванні колеса і підйомі його відносно рейки (рис., схема а) вектор сили тертя спрямовано вздовж поверхні донизу, а при опусканні колеса (рис., схема б) навпаки, вздовж поверхні у протилежному напрямку.

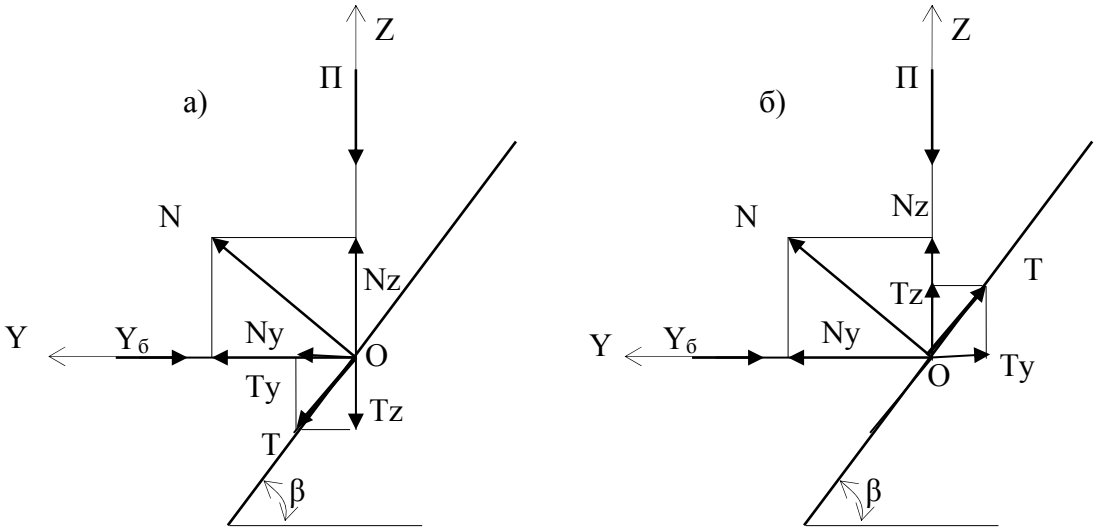

Рис. **Схема діючих сил у точці контакту гребеня з рейкою а) при підйомі колеса; б) при опусканні колеса**

Для розгляду рівноваги сил, які діють у точці контакту колеса з рейкою , статика надає два рівняння, відносно осей *OY* і *OZ*. Відповідними проекціями будуть: для нормальної реакції *N – Ny* і *Nz* , а для сили тертя *T – Ty* і *Tz* .

Складемо рівняння рівноваги для випадку підйому колеса:

$$\Sigma Z = Nz - Tz - П = 0; \quad (1, а)$$
$$\Sigma Y = Ny + Ty - Yб = 0; 2а) \quad (2, а)$$

Для опусканні колеса рівняння набувають вигляду:

$$\Sigma Z = Nz + Tz - П = 0; \quad (1, б)$$
$$\Sigma Y = Ny - Ty - Yб = 0; \quad (2, б)$$

При визначенні сили тертя ми користувались постійним значенням коефіцієнта тертя (*f*), який при нормальному тиску (*N*) з боку рейки забезпечує силу тертя

$$T = f \cdot N \quad (3)$$

Розв’язання рівнянь проведено шляхом таких перетворень:

$$\mathrm{T_y} = T \cdot \cos\beta = N \cdot f \cdot \cos\beta = N_y \cdot f \cdot \frac{1}{tg\beta} \quad ; \tag{4}$$

$$\mathrm{N_z} = \frac{N_y}{tg\beta}; \tag{5}$$

$$\mathrm{T_z} = T_y \cdot tg\beta = N_y \cdot f\ , \tag{6}$$

з урахуванням яких було отримане відношення між бічною силою і навантаженням колеса:

- для ситуації з підйомом колеса

$$\mathrm{Y_б} = \frac{\mathrm{f} + \mathrm{tg}\beta}{1 - \mathrm{f} \cdot \mathrm{tg}\beta} \cdot П; \tag{7, а}$$

- для ситуації з опусканням колеса

$$\mathrm{Y_б} = \frac{\mathrm{tg}\beta - \mathrm{f}}{1 + \mathrm{f} \cdot \mathrm{tg}\beta} \cdot П\ . \tag{7, б}$$

Таким чином, нами отримано співвідношення для залежності максимальної бічної сили залежно від навантаження колеса (П), кута нахилу гребеня до горизонту (β) і коефіцієнта тертя (*f*). Для заданого кута нахилу гребеня и коефіцієнта тертя, який приймають, як *f* = 0,25, частина виразу, що стоїть перед позначенням навантаження, сприймається як коефіцієнт.

Введемо позначення

$$\mathrm{K_1} = \frac{\mathrm{f} + \mathrm{tg}\beta}{1 - \mathrm{f} \cdot \mathrm{tg}\beta}; \tag{8, а}$$

$$\mathrm{K_2} = \frac{\mathrm{tg}\beta - \mathrm{f}}{1 + \mathrm{f} \cdot \mathrm{tg}\beta}\ . \tag{8, б}$$

Введені коефіцієнти слід сприймати як частку навантаження колісної пари, що реалізується при тій чи іншій поведінці колісної пари. Слід пам’ятати при цьому, що вони введені як характеристики граничного стану рівноваги і тому при розрахунках, пов’язаних з небезпекою, розрахункове бічне зусилля збільшують. Так, умова стійкості колісної пари в роботі [2] розглядається для ситуації опускання колеса, яка відповідає схемі «б» рис., з коефіцієнтом запасу 1,5. Зрозуміло, що така «перестраховка» сприймає на себе неврахування динамічних і силових чинників, які діють на колісну пару, а також можливе відхилення коефіцієнта тертя від розрахункового. Більш досконалим є відношення, наведене у Нормах [1], але складність його використання (формула включає в себе більше п’ятидесяти членів) ускладнює розуміння впливу окремих чинників на стійкість колісної пари від сходу.

Користуючись відношеннями для коефіцієнтів (8, а і 8, б), як характеристиками залежності максимальної бічної сили від кута нахилу гребеня, були проведені відповідні розрахунки. Результати розрахунків для обох ситуацій поведінки колісної пари приведені у таблиці.

Таблиця. **Значення коефіцієнтів K_1 і K_2**

Коефіцієнт	Кут нахилу гребеня β, град					
	60°	70°	72,5°	75°	77,5°	80°
K_1	3,495	9,57	16,5	59,3	-37,3	
K_2	1,03	1,48	1,63	1,8	2,0	2,24

Аналіз приведених розрахунків свідчить про збільшення стійкості колісної пари у кривих зі збільшенням кута нахилу гребеня. Навіть при куті нахилу у 70° перевищення бічної сили відносно сили навантаження при опусканні колеса сягає біля 1,5 рази. Таким чином виходить, що при навантаженні колеса силою у 110 kH (навантаження, близьке до нормативного) опускання колісної пари забезпечується, якщо бічна сила не перевищує 165 kH. Але таке значення не може бути реалізовано, тому що воно далеко виходить за межі нормативів бічної сили з умов міцності рейкової колії. Тому з впевненістю можна стверджувати, що кут нахилу гребеня у 70° цілком забезпечує безпеку локомотива по умові вкочення гребеня на рейку. Більше того, дані таблиці показують навіть теоретичну неможливість підйому колеса і вкочування його на рейку для коліс з кутом гребеня більше 75°, при якому розрахункова бічна сила набуває від'ємного значення.

Зрозуміло, що прийняти кути нахилу гребенів, окрім β=60° і β=70° для незношених поверхонь вагонних коліс і бандажів локомотивів, спостерігаються тільки в експлуатації. Тому можна бути впевненим, що зношування гребенів з одночасним збільшенням кута нахилу гребеня сприяє підвищенню стійкості колісної пари проти сходу її з рейок під дією бічної сили.

Висновки

1. Математично обґрунтовані ситуації поведінки колісної пари під дією бічної сили і приведені аналітичні вирази залежності максимальної бічної сили від навантаження колісної пари.

2. Проведені розрахунки свідчать про підвищення стійкості колісної пари проти сходу у кривих під дією бічної сили з підвищенням кута нахилу гребеня бандажа.

ЛІТЕРАТУРА

1. Норми для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520мм.– М.: ВНИИЖТ, 1998.– 145 с.

2. *Веригo М. Ф*. Динамика вагонов.: Конспект лекций. –М., ВЗИИТ, 1971. – 176 с.