

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БЕЗПЕЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ БУФЕРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНІВ ПРИ УДАРІ

В наведеній статті розглянуто математичні вирази вимог безпечної деформації буферних елементів вагонів згідно умови сповільнення руху при ударі із введенням у рівняння сталих величин, залежних від конструкції буферних механізмів та особливостей деформації.

В приведенной статье рассмотрены математические выражения требований безопасной деформации буферных элементов вагонов согласно условию замедления движения при ударе с введением в уравнения постоянных величин, зависящих от конструкции буферных механизмов и особенностей деформации.

In the article presented there are considered the mathematical expressions of requirements to safe deformation of buffer elements of wagons according to condition of the motion deceleration by shock with introduction into equation of constant quantities depending on design of the buffer mechanisms and particularities of deformation.

Існують явні протиріччя між вимогами інтенсивності формування залізничних составів на станціях і можливістю забезпечення безпеки та збереження в надійному стані засобів транспорту. В першу чергу це стосується питання забезпечення швидкості стикування залізничних вагонів у состави за умови застереження можливостей руйнування окремо стикових елементів та поглинаючих апаратів в цілому. Головною задачею цієї умови є вирішення питання безпечної деформації елементів даних механізмів – поглинання енергії удару без шкідливого впливу на конструкцію вагонів, пасажирів та вантажу. Така можливість обумовлена достатньою довжиною деформування та належної динаміки процесу (сповільнення при ударі a і швидкість його зростання \dot{a} не повинні перевищувати допустимих границь, за яких ще можна запобігти процесу руйнування). Встановити ці границі є доволі складно: чим більше \dot{a} , тим нижча межа a , і навпаки. Так, наприклад, для типових найбільш поширених чотириосьових вантажних та пасажирських вагонів (в навантаженому стані) максимальна швидкість стикування допускається в межах 12...13 км/год, а у порожньому стані – 15 км/год [1].

Початкова швидкість при ударі v_0 зменшується до нуля протягом тривалості удару t_i , яка залежить від середньої величини добутку сповільнення при ударі a на час $t - (a \cdot t)$. Сповільнення, початково рівне нулю (рис. 1), зростає до a_{\max} і знову спадає до нуля. На наведеному графіку видно, що за одних і тих же значень a_{\max} і a типова крива 1 розташована нижче кривої 2. У першому випадку для запобігання

аварійних ситуацій допустима швидкість руху вагона повинна бути нижчою. По суті графік дозволяє виразити проблему найоптимальнішим чином: або обмежувати швидкість руху, або покращувати конструкцію контактуючих, поглинаючих удари, вузлів залізничних вагонів.

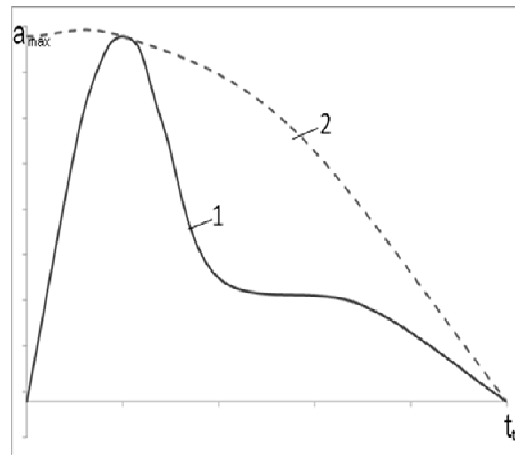


Рис. 1. Схема процесу деформування при ударі

Сповільнення при ударі. До процесу протікання удару відносно часу висувається ряд наступних вимог:

- 1) обмежена тривалість по часові від 0 до t_i ;
- 2) нульове початкове сповільнення a ;
- 3) обмежені значення a_{\max} та (da/dt) ;
- 4) низькі (da/dt) за великих величин a ;

- 5) велике значення площі $\int_0^{t_i} a dt$, що пред-

ставляє собою початкову швидкість при ударі v_0 ;

- 6) незначна за розмірами повна довжина

деформування x_t за даної початкової швидкості v_0 .

Всі наведені вимоги можна сформулювати за допомогою математичної моделі:

$$\text{при } a = K \cdot t^n, \quad 0 < n < 1, \quad (1)$$

де K та n – сталі величини, що залежать від конструкції буферних механізмів та умов деформації.

Похідна від a по часові, що виражає швидкість зростання прискорення процесу сповільнення, представлена залежностями:

$$\dot{a} = K \cdot n \cdot t^{n-1}, \quad (2)$$

$$\text{або } \dot{a} = n \cdot a \cdot t^{-1}. \quad (2')$$

$$\text{Співвідношення } v = v_0 - \int_0^t a dt \quad \text{та} \quad x = \int_0^t v dt$$

дають наступне:

$$v_0 = \frac{K}{n+1} \cdot t_t^{n+1}; \quad (3)$$

та

$$\left. \begin{aligned} x_t &= \frac{K}{n+2} \cdot t_t^{n+2}; \\ x_t &= \frac{n+1}{n+2} \cdot v_0 \cdot t_t; \\ t_t &= \frac{n+2}{n+1} \cdot \frac{x_t}{v_0}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Таким чином, при заданому відношенні (x_t/v_0) значення t_t залежить від вибору сталої величини умови деформації n . Оскільки $0 < n < 1$, значення часу t_t обмежене наступними границями:

$$1,5 \frac{x_t}{v_0} < t_t < \frac{2x_t}{v_0}.$$

Згідно математичної моделі (1), сповільнення при ударі a досягає свого максимуму при $t = t_t$ так що $a = K \cdot t_t^n$. Із рівняння (2) отримуємо, що $\dot{a}_t = K \cdot n \cdot t_t^{n-1}$ при $t = t_t$, і згідно виразу (4) отримуємо:

$$a_{\max} = \frac{(n+1)^2}{n+2} \cdot \frac{v_0^2}{x_t}; \quad (5)$$

$$\dot{a}_t = n \cdot \frac{(n+1)^3}{(n+2)^2} \cdot \frac{v_0^3}{x_t^2}. \quad (6)$$

Коефіцієнт і показник деформації. Важливе поняття коефіцієнта деформації D_C стикових елементів залізничних вагонів вводиться в математичну модель наступним чином:

$$D_C = \frac{x_t}{t_t}, \text{ м/с.} \quad (7)$$

Якщо деформація описується рівнянням (1) за умови $0 < n < 1$, то D_C змінюється від (1/2) до (2/3) можливої швидкості руху вагона при ударі.

Показник деформації D_F встановлюється згідно відношення:

$$D_F = \frac{x_t}{v_0}, \text{ с} \quad (8)$$

і становить від (1/2) до (2/3) повного часу деформації. Згідно виразу (4), отримуємо:

$$D_C = \frac{K}{n+2} \cdot t_t^{n+1}; \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} D_C &= \frac{n+1}{n+2} \cdot v_0; \\ D_F &= \frac{n+1}{n+2} \cdot t_t; \\ \frac{D_C}{D_F} &= \frac{v_0}{t_t}. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При сталому показнику деформації D_F із зменшенням n зростає t_t і тому при заданих значеннях v_0 та x_t зменшується коефіцієнт деформації D_C . Цей взаємозв'язок відіграє доволі важливу роль у процесі деформації. Із рівностей (3) і (4) визначаємо:

$$\left. \begin{aligned} K &= (n+1) \cdot v_0 \left[\frac{(n+1) \cdot v_0}{(n+2) \cdot x_t} \right]^{n+1}; \\ n &= \frac{2x_t - v_0 \cdot t_t}{v_0 \cdot t_t - x_t}, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

або

$$\left. \begin{aligned} K &= (n+2) \cdot \left(\frac{n+1}{n+2} \right)^{n+1} \cdot \frac{D_C}{D_F^{n+1}}; \\ n &= \frac{2D_C - v_0}{v_0 - D_C}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Таким чином, приймаючи сталі величини K та n , що залежать від конструкції буферних механізмів і умов деформації, можна встановити параметри деформації ще на етапі проектування (за заданої швидкості v_0). Границі для коефіцієнту K обмежуються наступними значеннями:

$$0,5 \frac{v_0^2}{x_t} < K < 0,89 \frac{v_0^3}{x_t^2},$$

або

$$\frac{D_C}{D_F} < K < 1,33 \frac{D_C}{D_F^2}.$$

Звідси видно, що ці границі дуже залежать від коефіцієнта n . Рівність (5) можна записати у вигляді

$$a_{\max} = (n+1) \frac{D_C}{D_F^2}. \quad (13)$$

Максимальні значення сповільнення a_{\max} обмежені в інтервалі:

$$\left(\frac{D_C}{D_F} \right)_{n=0} < a_{\max} < 2 \cdot \left(\frac{D_C}{D_F} \right)_{n=1}.$$

В свою чергу, рівності (6) та (10) дають вираз

$$\dot{a}_t = n \cdot \frac{(n+1)^2}{n+2} \cdot \frac{D_C}{D_F^2}. \quad (14)$$

Динаміка деформування. Процес удару описується наступними, залежними від часу t , параметрами: a , v , x та g (g – прискорення сили тяжіння). Для отримання загального уявлення про динаміку деформування в моделі $a = K \cdot t^n$ вводимо безрозмірні змінні величини, які приймаємо: T , A , W та Z – де відповідно безрозмірні величини часу, сповільнення, швидкості та довжини деформування, які виражаються залежностями:

$$T = \frac{t}{t_t}; \quad A = \frac{a}{g}; \quad W = \frac{v}{v_0}; \quad Z = \frac{x}{x_t}.$$

Для A матимемо:

$$A = K_A \cdot T^n, \quad (15)$$

де

$$K_A = \frac{1}{g} \cdot \frac{(n+1)^2}{n+2} \cdot \frac{v_0^2}{x_t},$$

або
$$K_A = \frac{1}{g} \cdot (n+1) \cdot \frac{D_C}{D_F},$$

а також

$$\left. \begin{aligned} \frac{dA}{dT} &= K_A \cdot n \cdot T^{n-1}; \\ \frac{dA}{dT} &= \frac{n \cdot A}{T}, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$$\frac{dA}{dT} = \frac{1}{t_t} \cdot \frac{n \cdot A}{T}. \quad (17)$$

Звідси одержуємо
$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{t_t} \frac{dA}{dT}$$

або
$$\frac{dA}{dt} = \frac{n+1}{n+2} \cdot \frac{v_0}{x_t} \frac{dA}{dT},$$

а також
$$\frac{dA}{dt} = \frac{n+1}{n+2} \cdot \frac{1}{D_F} \frac{dA}{dT}.$$

За умови, що $T=1$ ($t_t=t$) на кінцевому етапі деформування, отримуємо:

$$\begin{aligned} (A)_{T=1} &= K_A; \\ \left(\frac{dA}{dT} \right)_{T=1} &= n \cdot K_A; \\ \left(\frac{dA}{dT} \right)_{T=1} &= \frac{1}{n} \cdot n \cdot K_A. \end{aligned}$$

Згідно виразу (3) одержане наступне визначення:

$$W = 1 - T^{n+1}, \quad (18)$$

а із рівняння (4)

$$Z = T \cdot \left(1 + \frac{W}{n+1} \right). \quad (19)$$

На рис. 2 наведені криві залежності W і Z від часу T , звідки видно, що показник W залежить від n більше, ніж змінна величина Z .

Висновок

Механізми вагонних стикових елементів (буферів), сконструйовані згідно вимог надійності та гарантування безпеки при сприйнятті удару при стикуванні із швидкістю v_0 , повинні сприймати значну деформацію x_t , причому характер процесу по часові та його динамічні характеристики повинні забезпечувати захист при граничних рівнях a та \dot{a} . При невисокому a

допускаються більш високі значення \dot{a} . Запропонована математична модель в загальному задовольняє вимогам до процесу деформування. При заданих x_t і v_0 значення K і t_t залежать

лише від n . Із збільшенням n значення t_t зростає, а a_{\max} зменшується. Спадає також і \dot{a} на більшій частині інтервалу деформування (за винятком його короткого початкового відрізка).

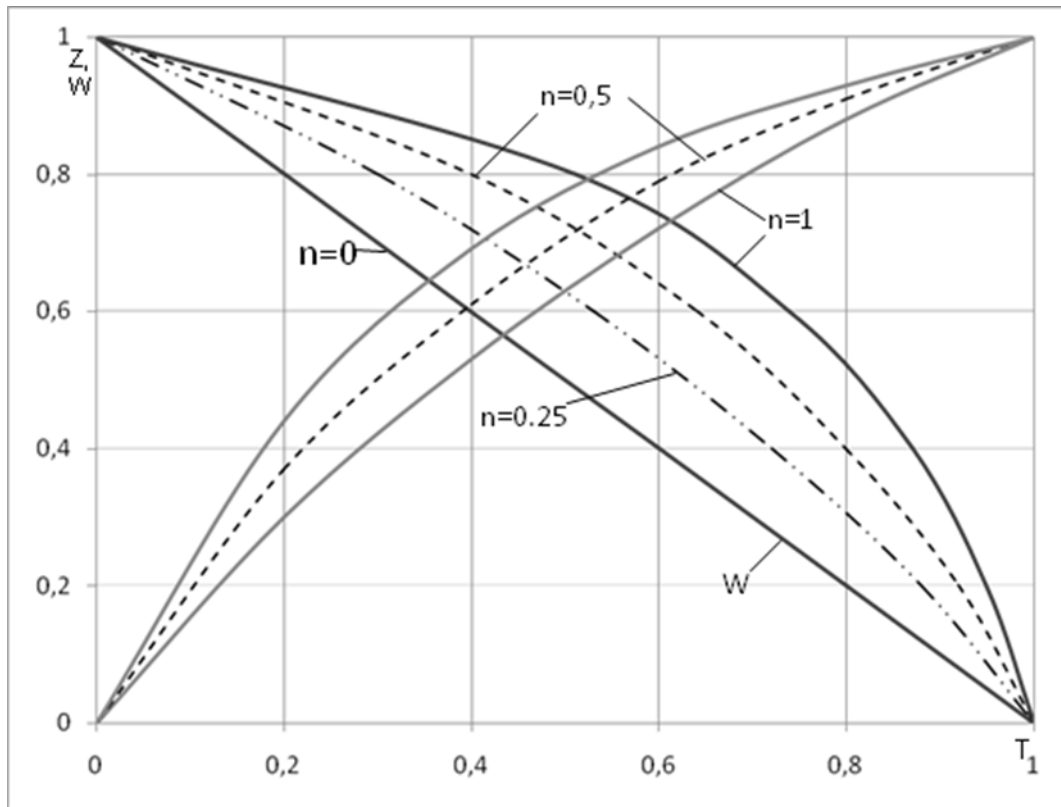


Рис. 2. Графік залежності безрозмірної швидкості W та безрозмірної довжини Z від часу T

Запропонована авторами математична модель $a = K \cdot t^n$ має наступні якості у практичному застосуванні:

- дає краще уявлення про безпечні деформації під час удару і може бути використана при конструюванні засобів залізничного транспорту;

- підкреслює важливість різних факторів, які визначають динаміку деформації, включаючи зміни величин a і \dot{a} та збільшення часу деформації t_t за заданої довжини шляху деформування x_t ;

- може бути використана при розробці рекомендацій процесу виготовлення залізничних вагонів та обмежень у швидкості при формуванні составів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. РД 24.050.37.95 [Текст]. Утв. ЦВ МПС РФ от 16.12.1994 г.

Надійшла до редколегії 02.03.2009.