ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКІВ МЕТАЛЕВИХ БАЛОК ПРИ ПОПЕРЕЧНОМУ УДАРІ

Захарченко М.Р., Балбекін І.А. Д-22-18
керівник: проф. Кіслов О.Г.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Металеві балки використовуються в будівництві мостових споруд, які працюють на динамічні навантаження. В процесі експлуатації покриття мостових споруд є найбільш слабким елементом мосту, тому що виникають деякі дефекти та пошкодження (тріщини, ями, колійність тощо). Колеса автомобільного транспорту попадають в ці види пошкоджень та випробують ударне навантаження.

Ударним навантаженням називають навантаження, яка передається на тіло протягом дуже малого проміжку часу і викликає значні прискорення в тілі, що зазнає удару. При співударі двох тіл виникають в області їх контакту місцеві деформації і напруження.

Залежно від способу прикладення навантаження до стержня розрізняють поздовжні, поперечні і крутильні удари.

В нашій роботі розглянуто розрахунок на поперечний удар (удар при згині) сталевої балки двотаврового перерізу.

Такі конструкції можуть бути розраховані без врахування власної ваги або з врахуванням. В деяких випадках маса стержнів порівняно з вагою навантаження мають суттєвий вплив на динамічні напруження, які виникають в стержні, що знаходяться під дією ударних навантажень. Також з метою значного зменшення динамічних напружень можна використовувати різні амортизатори, які забезпечують податливість стержня на який падає вантаж (гумові прокладки, пружини тощо).

Пружини є одним з найбільш розповсюдженим пружним елементом для пом’якшення ударів та поштовхів. Найбільше використання мають циліндричні винтові пружини, які працюють на розтяг або стиск, що виготовляються з прутків круглого поперечного перерізу.

Деформація пружини, тобто змінення її довжини в напряму осі пружини визначається за формулою

$$\lambda = \frac{8FD^3n}{Gd^4}$$, де

F - осьова сила, що діє на пружину;

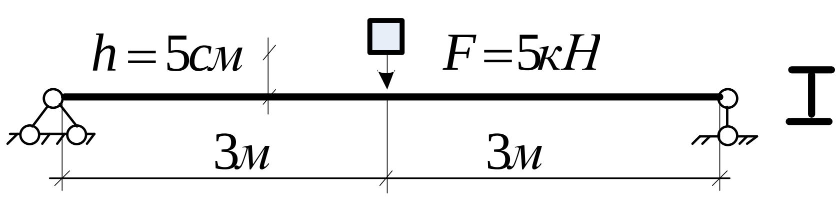
D - середній діаметр пружини;

d - діаметр дроту пружини;

n - число витків пружини.

Аналіз пружин показав, що збільшення числа витків n пропорційно збільшує деформацію пружини λ і зменшує її жорсткість.

Покажемо розрахункову схему балки



Вихідні дані: Матеріал балки сталь Ст.3 [σ]=160МПа, Е=$2\cdot10^5$МПа.

Вантаж *F* падає на балку в середині прольоту з висоти *h*=5см.

Добрати поперечний переріз балки

Умова міцності для пластичних матеріалів

$$\sigma_{\max}^{дин.} \le [\sigma_д] = \frac{\sigma_т}{n_т} = \frac{240}{2} = 120МПа.$$

Спочатку визначимо розміри поперечного перерізу від статичного завантаження силою *F*

Значення максимального згинального моменту буде

$$M_{\max}^{ст} = \frac{F\ell}{4} = \frac{5\cdot6}{4} = 7{,}5кНм.$$

Статичне напруження $\sigma_{\max}^{ст} = \dfrac{M_{\max}^{ст}}{W_z} \le [\sigma] = 120МПа$.

Визначимо момент опору $W_{\max}^{потр} = \dfrac{M_{\max}^{ст}}{[\sigma]} = \dfrac{7\cdot5\cdot10^5}{120\cdot10^2} = 62{,}5см^3$.

Вибираємо з сортаменту **I**№4, W_z=81,7см^3, I_z=572 см^4.

Для визначення динамічного напруження треба визначити динамічний коефіцієнт $K_д$ за формулою

$$K_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f}}, \text{ де}$$

f – стріла прогину балки, яка визначаэться за формулою:

$$f = \frac{F\ell^3}{48EI} = \frac{5\cdot10^3\cdot6^3(10^2)^3}{48\cdot2\cdot10^5\cdot10^2\cdot572} = 1{,}97см.$$

Тоді $K_\partial = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 5}{1{,}97}} = 3{,}46$.

З умови міцності на динамічне навантаження маємо $K_\partial \sigma_{\max}^{\text{ст}} \le [\sigma_\partial]$

$$3{,}46 = \frac{7 \cdot 5 \cdot 10^5}{81{,}7 \cdot 10^2} \le 120 \Rightarrow 317{,}6 МПа >> 120 МПа.$$

Спробуємо підвищити жорсткість балки за рахунок збільшення розмірів двотавру.

Приймаємо **I**№24, W_z=289см^3, I_z=3460 см^4.

Тоді $\sigma_{\max}^{\text{ст}} == \frac{7 \cdot 5 \cdot 10^5}{289 \cdot 10^2} = 26 МПа$

$$f = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot 6^3 (10^2)^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 10^2 \cdot 3460} = 0{,}325 см \qquad K_\partial = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 5}{0{,}325}} = 6{,}64$$

Динамічний коефіцієнт значно збільшився, що дає можливість зробити висновок, що чутливість до удару зростає з підвищенням жорсткості балки.

Визначимо динамічне напруження $\sigma_{\max}^{дин.} = 6{,}64 \cdot 26 = 172{,}6 МПа > 120 МПа$, що недопустимо.

Спробуємо врахувати вагу балки

Балка **I**№24 має власну вагу Q=27,6кг·6м=163,8кг, або Q=1,64кН.

Це дозволить знизити величину динамічного коефіцієнту, формула має вигляд

$$K_{д} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f(1 + \beta \frac{Q}{F})}},$$

де β - коефіцієнт зведення маси балки, що враховує спосіб спирання балки $\beta = \frac{17}{35}$

Тоді

$$K_{д} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 5}{0{,}325(1 + \frac{17}{35} \cdot \frac{1{,}64}{5})}} = 6{,}25$$

$\sigma_{\max}^{дин.} = 6{,}25 \cdot 26 = 162{,}5 МПа > 120 МПа$ на $\varepsilon = 35\%$.

Як видно, з урахуванням власної ваги балки динамічний коефіцієнт зменшується, але незначно, тому що власна вага балки менша прикладеного вантажу в 3 рази.

Для зниження напружень треба прагнути головним чином до збільшення податливості балки, шляхом добавлення пружини.

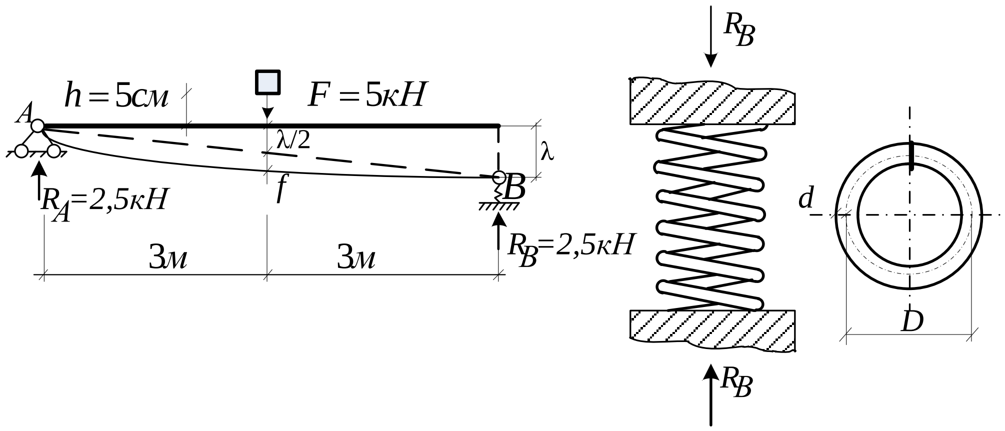
Тому спробуємо в опорі *В* поставити сталеву циліндричну гвинтову пружину з такими параметрами:

$D = 12 см$, $d = 1{,}8 см$, $n = 8$, $[\tau] = 500 МПа$, $G = 8 \cdot 10^4 МПа$.

Тоді динамічний коефіцієнт визначається за формулою

$K_{д} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f + \Delta_{ст}^{пр}}}$, де $\lambda_{ст}^{пр} = \lambda$ (осідання пружини).

Покажемо розрахункову схему балки



Визначимо осадку пружини за формулою

$$\lambda = \frac{8R_B D^3 n}{Gd^4} = \frac{8\cdot 2{,}5\cdot 10^3\cdot 12^3\cdot 8}{8\cdot 10^4\cdot 10^2\cdot 1{,}8^4} = 3{,}26см$$

Тоді повне переміщення балки всередині прольоту буде

$$\Delta_{ст} = f + \frac{\lambda}{2} = 0{,}325 + \frac{3{,}29}{2} = 1{,}97см.$$

Визначимо динамічний коефіцієнт

$$K_д = 1 + \sqrt{1 + \frac{2\cdot 5}{0{,}325(1 + \frac{17}{35}\cdot\frac{1{,}89}{5}) + \frac{3{,}29}{2}}} = 3{,}43$$

Тоді

$$\sigma_{\max}^{дин.} = 3{,}43\cdot 26 = 89{,}2МПа < [\sigma] = 120МПа$$

Переріз **I**№24 проходе за нормальними напруженнями.

Але слід перевірити міцність дроту пружини за дотичними напруженнями.

Умова міцності $\tau_{\max}^{дин.} \le [\tau] = 500МПа$.

$$\tau_{\max}^{дин.} = K_д \tau_{\max}^{ст} = K_д \frac{8R_B \cdot D}{\pi d^3}(1+\frac{d}{2D}) =$$

$$= 3{,}43\frac{8 \cdot 2{,}5 \cdot 10^3 \cdot 12}{3{,}14 \cdot 1{,}8^3 \cdot 10^2}(1+\frac{1{,}8}{2 \cdot 12}) =$$

$$= 3{,}43 \cdot 140{,}9 = 483{,}3 > МПа < [\tau] = 500МПа$$

Умова міцності дроту пружини задовольняється.

Спробуємо змоделювати рух колеса автомобіля з малою швидкістю по балці **I**№24.

Визначимо з якої висоти *h* може впасти на балку вантаж F=5кН, не викликаючи в балці і пружині напруження, що перевищують допустимі.

Динамічний коефіцієнт визначається за формулою (без урахування власної ваги)

$$K_д = 1+\sqrt{1+\frac{2h}{0{,}325+\frac{3{,}29}{2}}} = 1+\sqrt{1+1{,}015h}$$

Запишемо умову міцності балки за нормальними напруженнями

$$\sigma_{\max}^{дин.} = K_д \sigma_{\max}^{ст} \le [\sigma_д]\text{;}\quad (1+\sqrt{1+1{,}015h_1})26 \le 120$$

Виконаємо деякі перетворення та отримаємо

$$1+1{,}015h_1 \le 3{,}6^2 \Rightarrow h_1 = \frac{3{,}6^2-1}{1{,}015} = 11{,}8см$$
.

Запишемо умову міцності дроту пружини за дотичними напруженнями

$$\tau_{\max}^{дин.} = K_д \tau_{\max}^{ст} \le [\tau_д]$$

$$(1+\sqrt{1+1{,}015h_2})140{,}9 \le 500$$

Виконаємо перетворення та одержимо $1+1{,}015h_2 \le 2{,}55^2 \Rightarrow h_2 = \dfrac{2{,}55^2-1}{1{,}015} = 5{,}4\textit{см}$

Таким чином висота з якої може падати на балку вантаж, дорівнює меншому з двох значень h, тобто 5,4 см.

Отже особливість розрахунків при поперечному ударі пов'язано з тим, що зменшувати динамічні напруження можна за рахунок постановки в опорі амортизатора.