УДК 539.3

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВЕЛИЧИН СИЛИ УДАРУ І МАКСИМАЛЬНОЇ НАПРУГИ ВІД МІСЦЯ НАНЕСЕННЯ УДАРУ

Т. Ю. Шолота
студентка 2 курсу, група БЦІ-21, навчально-науковий інститут будівництва і архітектури
Науковий керівник – к.т.н., доцент В. І. Андрушков

Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна

Представлено матеріали дослідження впливу місця нанесення поздовжнього удару на величини сили удару і максимальної напруги в поперечному перерізі бруса. Аналіз отриманих результатів зроблено в вигляді графіків відповідних залежностей.
Ключові слова: брус, удар, динамічний коефіцієнт, сила, напруга.

Представлены материалы исследования влияния места нанесения продольного удара на величины силы удара и максимального напряжения в поперечном сечении бруса. Анализ полученных результатов сделан в виде графиков соответственных зависимостей.
Ключевые слова: брус, удар, динамический коэффициент, сила, напряжение.

Materials of the influence study of the longitudinal impact location on the magnitude of the impact force and the maximum stress in the cross-section of the beam are presented. The analysis of the obtained results is made in the form of graphs of the corresponding dependencies.
Keywords: beam, impact, dynamic coefficient, force, stress.

При визначенні напруг, деформацій, переміщень від дії динамічних навантажень, зокрема при поздовжньому ударі, в літературі, як правило, розглядаються задачі, коли удар здійснюється вздовж осі бруса. Якщо десь і зустрічається розгляд питання позацентрового удару, то місцем удару є точка, що знаходиться на одній з головних центральних осей поперечного перерізу бруса, що зазнає удару, як, наприклад, в [1].

Мета даної роботи – отримати розв'язок задачі визначення напруг при позацентровому ударі і дослідити, як впливає місце розташування точки удару на величину сили удару і максимальної напруги.

Розглядалась задача, коли вантаж вагою ***G*** падає з висоти ***h*** на брус, що стоїть на жорсткій основі, в довільній точці ***K*** (рис. 1). Маса бруса, що зазнає удару до уваги не приймалась. Крім того, було зроблено припущення, що максимальна напруга в поперечних перерізах бруса в момент удару не перевищує величину границі пропорційності його матеріалу.

Сила удару буде дорівнювати:

$$F_d = G \cdot K_d \ , \qquad (1)$$

де K_d – динамічний коефіцієнт.

Після удару точка ***K*** переміститься на величину Δd, а значить робота вантажу вагою ***G*** на його переміщенні визначиться за формулою

$$W = G \cdot (h + \Delta d)\,. \tag{2}$$

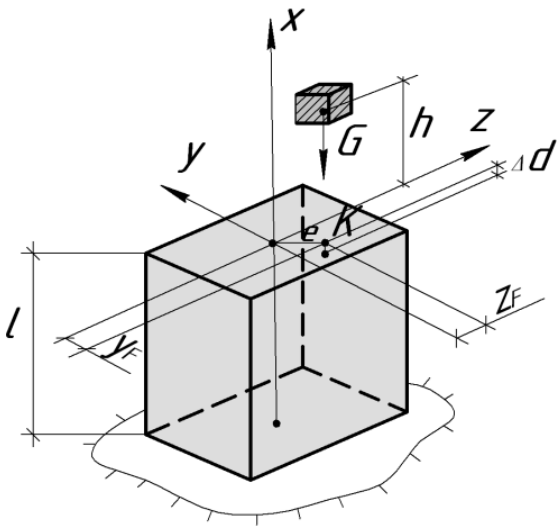

Рис. 1. Схема бруса, що зазнає позацентрового удару

Переміщення Δd представляє собою суму трьох переміщень

$$\Delta d = \Delta d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3\ , \tag{3}$$

де $\Delta d_1 = \dfrac{F_d \cdot l}{E \cdot A}$ – переміщення точки ***K*** через укорочення осі бруса від дії сили $\boldsymbol{F_d}$,

$\Delta d_2 = \dfrac{F_d^2 \cdot y_F^2 \cdot l^3}{6 \cdot E^2 \cdot I_z^2} + \dfrac{F_d^2 \cdot z_F^2 \cdot l^3}{6 \cdot E^2 \cdot I_y^2}$ – переміщення точки ***K*** через викривлення осі бруса,

$\Delta d_3 = \dfrac{F_d \cdot y_F^2 \cdot l}{E \cdot I_z} + \dfrac{F_d \cdot z_F^2 \cdot l}{E \cdot I_y}$ – переміщення точки ***K*** внаслідок повороту перерізу,

$\boldsymbol{E, I_z, I_y}$ – модуль пружності матеріалу бруса та головні центральні моменти інерції його поперечного перерізу.

Тоді формула (2) набуває вигляду:

$$W = G \cdot (h + \frac{F_d \cdot l}{E \cdot A} + \frac{F_d^2 \cdot y_F^2 \cdot l^3}{6 \cdot E^2 \cdot I_z^2} + \frac{F_d^2 \cdot z_F^2 \cdot l^3}{6 \cdot E^2 \cdot I_y^2} + \frac{F_d \cdot y_F^2 \cdot l}{E \cdot I_z} + \frac{F_d \cdot y_F^2 \cdot l}{E \cdot I_y}\ . \tag{4}$$

В результаті деформації брус, що зазнає удару, накопичує потенціальну енергію пружної деформації, яка визначається за формулою

$$U = \frac{F_d^2 \cdot l}{2 \cdot E \cdot A} + \frac{F_d^2 \cdot y_F^2 \cdot l}{2 \cdot E \cdot I_z} + \frac{F_d^2 \cdot z_F^2 \cdot l}{2 \cdot E \cdot I_y} = \frac{F_d^2 \cdot l(I_z \cdot I_y + A \cdot y_F^2 \cdot I_y + A \cdot z_F^2 \cdot I_{z)}}{2 \cdot E \cdot A \cdot I_z \cdot I_y}\,. \tag{5}$$

Використовуючи закон збереження енергії, прирівнюємо праві частини формул (4) і (5). В результаті отримуємо рівняння

$$F_d^2\left(\Delta l_{st}\cdot\frac{y_F^2\cdot l^2\cdot A}{6\cdot E\cdot I_z^2}+\Delta l_{st}\cdot\frac{z_F^2\cdot l^2\cdot A}{6\cdot E\cdot I_y^2}-\frac{(I_z\cdot I_y+y_F^2\cdot A\cdot I_y+z_F^2\cdot A\cdot I_z)\cdot l}{2\cdot E\cdot A\cdot I_z\cdot I_y}\right)+$$
$$+F_d\left(\Delta l_{st}\cdot\frac{y_F^2\cdot l}{E\cdot I_z}\cdot G+\frac{z_F^2\cdot l}{E\cdot I_y}\cdot G\right)+G\cdot h=0, \quad (6)$$

де $\Delta l_{st}=\dfrac{G\cdot l}{E\cdot A}$ – деформація бруса від статичної дії навантаження ***G***.

Розв'язок цього рівняння дає можливість визначити силу удару $\boldsymbol{F_d}$, а згодом і величину напруги:

$$\sigma_d=-\frac{F_d}{A}-\frac{M_d^z}{I_z}\cdot y-\frac{M_d^y}{I_y}\cdot z=-F_d\left(\frac{1}{A}+\frac{y_F\cdot y}{I_z}+\frac{z_F\cdot z}{I_y}\right). \quad (7)$$

Якщо деформація бруса мала в порівнянні з висотою ***h***, то сила удару буде дорівнювати

$$F_d=G\sqrt{\frac{2\cdot h\cdot I_z\cdot I_y}{\Delta l_{st}(I_z\cdot I_y+y_F^2\cdot A\cdot I_y+z_F^2\cdot A\cdot I_z)}}=G\cdot K_d. \quad (8)$$

Значить динамічний коефіцієнт визначається за формулою

$$K_d=\sqrt{\frac{2\cdot h\cdot I_z\cdot I_y}{\Delta l_{st}(I_z\cdot I_y+y_F^2\cdot A\cdot I_y+z_F^2\cdot A\cdot I_z)}}. \quad (9)$$

Визначення величин сили удару і максимальної напруги виконувалось на прикладі бруса прямокутного поперечного перерізу (рис. 2). Точки 1–7 вказують на місце удару.

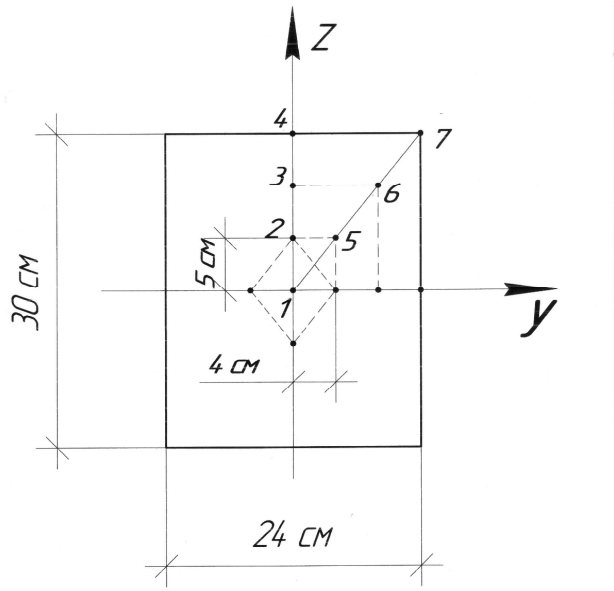

Рис. 2. Поперечний переріз бруса з позначенням точок нанесення удару

Залежність величин сили удару і максимальної напруги від місця удару представлено в вигляді відповідних графіків на рис. 3 і 4.

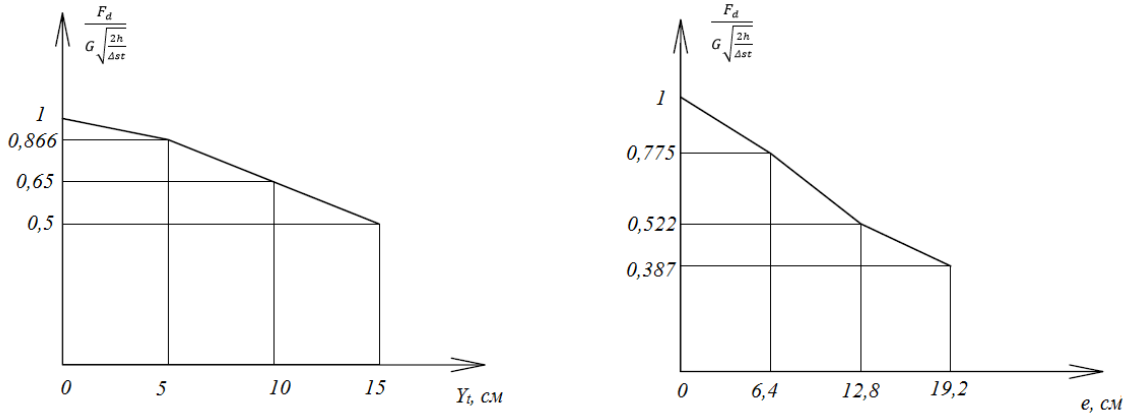

Рис. 3. Графіки залежності F_d від ексцентриситету точки удару

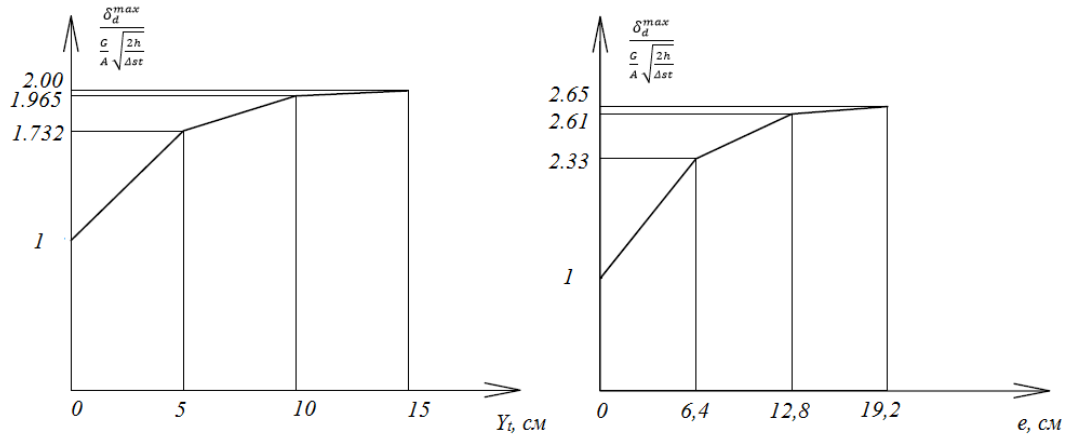

Рис. 4. Графіки залежності σ_d від ексцентриситету точку удару

Аналіз проведених чисельних розрахунків за отриманими формулами свідчить про те, що при збільшенні ексцентриситету сила удару зменшується, а максимальна напруга зростає, хоча процес зростання останньої поступово сповільнюється.

1. Степин П. А. Сопротивление материалов : учебник для немашиностроительных специальностей вузов. 7-е изд. М. : Высш. школа, 1983. 303 с.