

ПІДСИЛЕННЯ СТЕРЖНЬОВОЇ СИСТЕМИ ЗА РАХУНОК ВВЕДЕННЯ ДОДАТКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Бережний Д.С., Кузуб Д.С., Д-22-19, ХНАДУ

Керівник: к.т.н., проф. каф. МКБМ – Кіслов О.Г.

В опорі матеріалів ми вивчали розрахунки на міцність, жорсткість та стійкість статично визначених і статично невизначених систем. Особливу увагу приділяли стержньовим системам.

Стержньові системи – несучі будівельні конструкції, що складаються з стержнів, які жорстко або шарнірно з'єднані між собою у вузлах.

Такі системи необхідно розраховувати на міцність та жорсткість з метою забезпечення надійної та довговічній роботі конструкцій. Розрахунки пов'язані у виборі розрахункових схем і матеріалу в залежності від умови роботи конструкції і в призначенні необхідних розмірів її елементів виходячи з умов міцності і жорсткості.

В роботі досліджувалася існуюча стержньова система (кронштейн), яка складається з двох прямолінійних стержнів, з'єднаних між собою у вузлах з допомогою зварки. Стержні кронштейна мають перерізи з двох рівнобічних кутників: перший – кутник №3 ($v_1=30\text{мм}$, $d_1=3\text{мм}$, $A_1=1,74\text{см}^2$); другий - кутник №6 ($v_2=60\text{мм}$, $d_2=5\text{мм}$, $A_2=5,83\text{см}^2$). Ці стержні з'єднані у вузлі під

кутом $\alpha=45^\circ$ з допомогою косинки. Матеріал – сталь Ст.3, розрахунковий опір $R=210$ МПа, модуль пружності $E=2 \cdot 10^5$ МПа. Кронштейн завантажено силою $F=50$ кН. Розрахункова схема наведена на рис. 1. Спочатку перевіряємо існуючу конструкцію на міцність та стійкість її елементів.

Знаходимо зусилля в стержнях 1(АВ) і 2(СВ) з умови міцності за I граничним станом – втрата несучої спроможності.

Розглянемо рівновагу вузла В (рис. 1б).

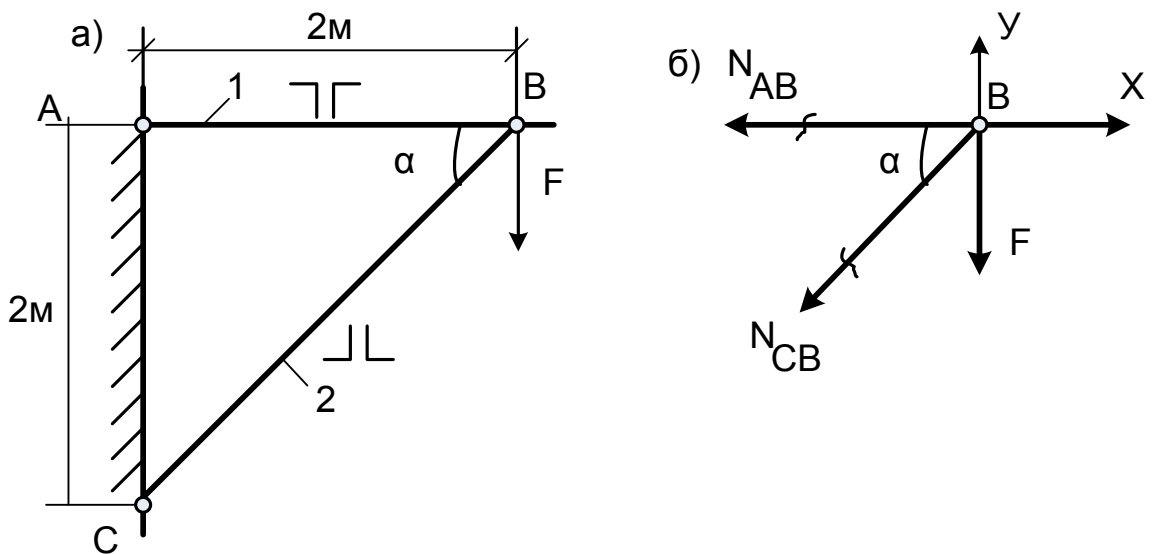


Рисунок 1 - Стержньова система
а) розрахункова схема; б) вузол В.

$$\Sigma Y=0, -N_{CB} \sin \alpha - F =0 \Rightarrow N_{CB}=-50/\sin \alpha= 50/0,7071=- 70,7 \text{ кН,}$$

$$\Sigma X=0, -N_{AB}-N_{CB} \cos \alpha =0 \Rightarrow N_{AB}=-(-70,7) \cdot 0,7071=50 \text{ кН.}$$

Визначимо нормальні напруження в обох стержнях

$$\sigma_1= N_{AB}/A_1=50 \cdot 10^3/2 \cdot 1,74 \cdot 10^{-4}=143,7 \text{ МПа} < R=210 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_2= N_{CB}/A_2=-70,7 \cdot 10^3/2 \cdot 5,83 \cdot 10^{-4}=-60,6 \text{ МПа} < R=210 \text{ МПа.}$$

Перевіримо на стійкість стержень СВ, оскільки він працює на стиск.

$$\text{Умова стійкості} \quad F/A \leq \varphi R.$$

Геометричні характеристики поперечного перерізу стержня:

$$A=2 \cdot 5,83=11,66\text{см}^2, \quad i_{\min}=2 \cdot 1,18=2,36\text{см}, \quad \ell_{\text{СВ}}=2,83\text{м}.$$

$$\text{Сила що стискує } F= N_{\text{СВ}}=70,7\text{кН}.$$

Визначимо гнучкість стержня СВ

$$\lambda=\mu \cdot \ell_{\text{СВ}}/ i_{\min}=1 \cdot 2,83 \cdot 10^2/2 \cdot 1,18=120,0 \Rightarrow \varphi=0,45$$

$$\text{Тоді } \sigma_{\max}=70,7 \cdot 10^3/2 \cdot 5,83 \cdot 10^{-4} \cdot 0,45=135,7\text{Мпа} < R=210\text{МПа}$$

Перевірка міцності кронштейна та стійкості стержня, що працює на повздовжній згин, підтверджує нормальну роботу кронштейна в цілому.

Але часто потрібно збільшувати навантаження, що прикладається до існуючої конструкції. Для цього є два варіанта для підвищення її несучої здатності:

- збільшити площу поперечного перерізу стержнів;
- підсилити додатковими елементами.

Оскільки збільшити площу поперечного перерізу стержнів існуючого кронштейна дуже складно, то спробуємо виконати підсилення.

Введемо третій додатковий стержень ДВ під кутом $\alpha=30^\circ$ до першого, який має переріз з двох рівнобічних кутників №3 ($b_3=30\text{мм}$, $d_3=3\text{мм}$, $A_3=1,74\text{см}^2$).

Розрахункова схема наведена на рис 2а.

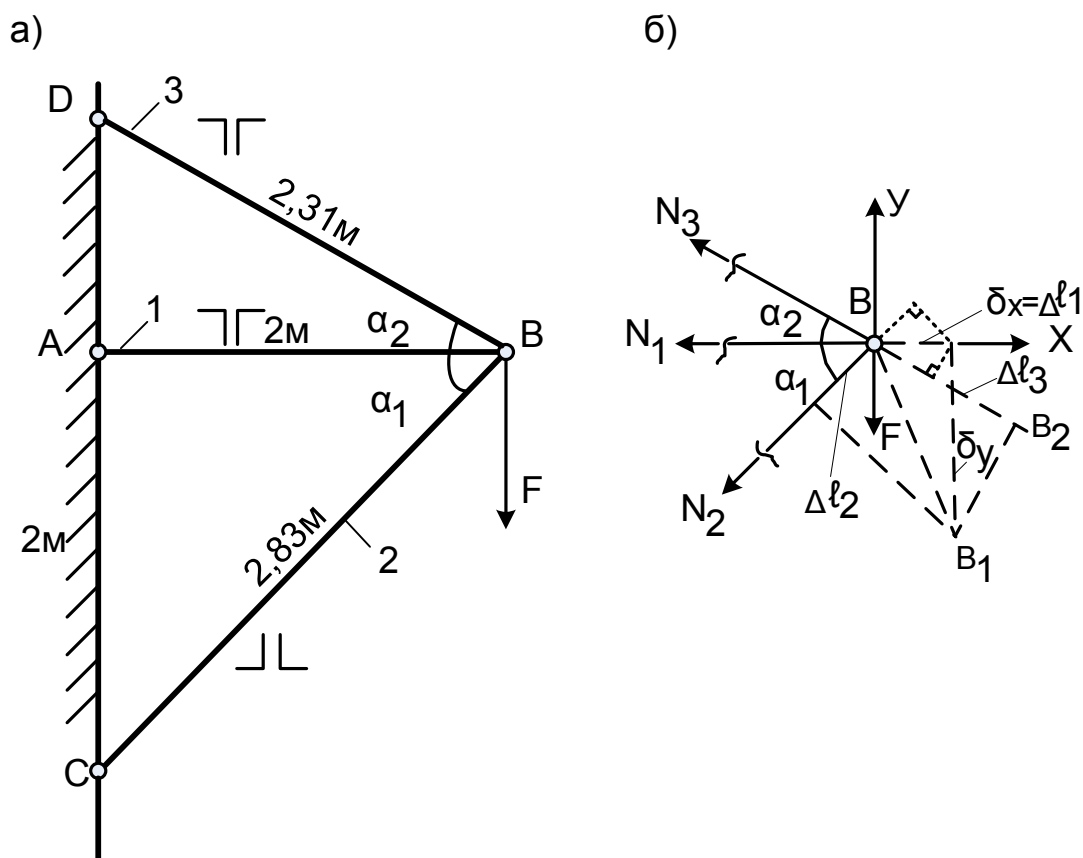


Рисунок 2 - Стержньова система з додатковим елементом
а) розрахункова схема; б) вузол В.

Оскільки кронштейн має три стержня, то він стає статично невизначеним. Для розрахунку статично невизначеної системи крім рівнянь рівноваги необхідно скласти допоміжне рівняння – рівняння сумісності деформацій елементів конструкцій.

Визначимо величину розрахункового навантаження F , яку зможе витримати кронштейн з додатковим елементом.

Вирізуємо вузол В (рис. 2б). Вузол В займає нове положення в т. B_1 . Замінимо переміщення δ_B його складовими δ_x і δ_y .

Складемо рівняння

$$\Sigma X=0, -N_3 \cos \alpha_2 - N_1 - N_2 \cos \alpha_1=0; \quad (1)$$

$$\Sigma Y=0, N_3 \sin \alpha_2 - N_2 \sin \alpha_1 - F=0. \quad (2)$$

Ці рівняння мають три невідомих зусилля.

Складемо додаткове рівняння рівноваги вузла В з умов сумісної деформації стержнів кронштейна.

Спроекуємо складові переміщення δ_x і δ_y на напрями стержнів:

$$\begin{aligned} \delta_x \cos \alpha_2 + \delta_y \sin \alpha_2 &= \Delta l_3 - \text{стержень 3 подовжується,} \\ \delta_x &= \Delta l_1 - \text{стержень 1 подовжується,} \\ -\delta_x \cos \alpha_1 + \delta_y \sin \alpha_1 &= -\Delta l_2 - \text{стержень 2 скорочується.} \end{aligned} \quad (3)$$

З рівнянь (3) виключимо невідомі δ_x і δ_y та отримаємо рівняння, що зв'язує деформацію стержня 1 з деформаціями стержнів 2 і 3.

Це рівняння набуває вигляду

$$\Delta l_1 \sin (\alpha_1 + \alpha_2) = \Delta l_3 \sin \alpha_1 + \Delta l_2 \sin \alpha_2.$$

Після заміни деформацій стержнів, які визначаються за законом Гука $\Delta l = N_i \cdot l_i / EA_i$, та підстановою значень кутів α_i і жорсткостей EA_i отримаємо

$$N_1 = 0,784 N_3 + 0,138 N_2 \quad (4)$$

Розв'язування системи рівнянь (1), (2), (4) дає значення зусиль, що виникають, в стержнях в одиницях F:

$$N_1 = 0,208 F, \quad N_2 = -0,724 F, \quad N_3 = 0,329 F.$$

Визначимо нормальні напруження

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 0,208 F / 2 \cdot 1,74 = 0,061 F, \\ \sigma_2 &= 0,724 F / 2 \cdot 4,8 = -0,076 F, \\ \sigma_3 &= 0,329 F / 2 \cdot 1,74 = 0,222 F. \end{aligned}$$

Найбільші напруження виникають в додатковому стержні 3, для нього складемо умову міцності $\sigma_{\max} = \sigma_3 = 0,222 F \leq R$

Тоді $[F] \leq R/0,222 = 210 \cdot 10^6 \cdot 10^{-4} / 0,222 = 94,6 \text{ кН}$ – допустиме значення навантаження.

Перевіримо стійкість стержня 2.

$$\sigma_{\max} = \leq \varphi R.$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\max} = 0,076 \cdot 94,6 \cdot 10^3 / 10^{-4} = 71,9 \text{ МПа} < 0,45 \cdot 210 = 94,5 \text{ МПа}.$$

Умова стійкості виконується.

Висновки. Результати дослідження засвідчують, що несуча здатність існуючої стержньової системи може бути підвищена за рахунок встановлення додаткових елементів конструкції, що сприяє можливості збільшити проектні значення навантажень та підвищити жорсткість всієї конструкції.

Література:

1. Кубланов Н.П. «Статика споруд і металеві конструкції»/ Н.П. Кубанов // Підручник.- Київ, Держбудвидат, 1959, 291 с.
2. Чихладзе Е.Д., Веревичева М.А. «Опір матеріалів» / Е.Д.Чизладзе, М.А. Веревичева // Підручник.- Харків, ХНАДУ, 2006, 527 с.