

Отже, алкоголь несе деградацію і загибель. Вживання спиртного підлітками в будь-якій дозі призводить до алкогольного отруєння і повинно розглядатися як патологія, це завжди зловживання. Те, що перша спроба вживання будь-яких алкогольних напоїв підлітками в Україні відбувається до 13 років, що як хлопці, так і дівчата вже в підлітковому віці кілька разів перебували в стані сп'яніння, свідчить, що наші підлітки не усвідомлюють небезпек пов'язаних з алкоголем, необізнані з елементарною інформацією про шкоду алкогольних напоїв, не зацікавлені станом власного здоров'я. Суттєвого покращення цієї ситуації можна досягти при проведенні загально державних програм, поліпшенні соціально-економічної ситуації в країні та підвищенні рівня санітарно-просвітницької роботи. При проведенні широкомасштабних заходів, спрямованих на боротьбу з алкоголізмом, необхідно підкреслити надзвичайно важливу роль працівників освіти. Саме вони, будучи добре обізнаними та компетентними у питаннях валеології, вікової психології та методики впливу на свідомість школярів, систематично і наполегливо повинні переконувати молодь не вживати алкоголь та активно впливати на мотивацію дотримання здорового способу життя. У цьому запорука здоров'я нашої української нації.

Перелік використаної літератури:

1. Бондар Т. В. Рівень поширення і тенденції вживання тютюну, алкогольних напоїв, наркотичних речовин серед учнівської молоді України / Т. В. Бондар, Ю. П. Галич та ін. кер. авт. кол. О. М. Балакієва. – К.: Обнова, 2011. – 176 с.
2. Глобальная стратегия сокращения вредного употребления алкоголя / Всемирная организация здравоохранения. – Женева, 2010. – 42 с.
3. Циганкова А. С. Проблема дитячого алкоголізму та наркоманії в Україні [Текст] // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Методика навчання природничих дисциплін у вищій та середній школі» (XX Каришинські читання) / За заг. Ред. Проф. М. В. Гриньової – Полтава, 2013. – 424 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ЇХ ЗАКРІПЛЕННЯ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ

*Лобода Дмитро Олександрович
м. Полтава*

Протягом всього терміну експлуатації елементи конструкцій та деталей машин зазнають різних пошкоджень, природа яких залежить від їх напружено-деформованого стану та умов роботи (розтяг або стиск, згинання, кручення, згинання з крученням, змінне навантаження тощо). Для забезпечення міцності, надійності та довговічності цих елементів проводяться численні дослідження процесів накопичення пошкоджень, зокрема, зародження та розвиток тріщин в матеріалах, з яких виготовлені конструкції та деталі машин. Основними напрямками запобігання цим негативним явищам або зменшення їх впливу на роботу конструкцій в цілому є проведення своєчасного та якісного діагностування, тобто визначення технічного стану об'єкта, дослідження та проектування раціональних формперерізів, аналіз умов закріплення елементів тощо.

Серед усіх елементів конструкцій та деталей машин сучасного підприємства значну частину складають ті, які працюють на стискання: колони, стійки, верхні пояси ферм, гвинти в передачах гвинт-гайка, гвинтові пружини та інші. Їх розраховують не тільки на міцність, але й на стійкість, оскільки втрата стійкості є дуже небезпечним явищем, внаслідок якого відбувається некерований ріст деформацій і стиснутий стержень руйнується практично миттєво, що виключає будь-яку можливість вжиття дієвих заходів щодо запобігання аваріям і катастрофам. Саме тому тривалий час проводять дослідження стійкості стиснутих елементів для розробки заходів щодо недопущення подібних надзвичайних ситуацій в майбутньому [1-5]. Оскільки основними завданнями технічного діагностування є контроль та прогнозування технічного стану об'єкта, а також виявлення причин порушення нормальної експлуатації стиснутих елементів конструкцій та деталей машин, слід провести додаткові дослідження щодо впливу умов закріплення кінців елементів та жорсткості опор на значення критичного навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вагомий внесок для вирішення цієї проблеми внесли видатні вчені XVIII-XX століть Л. Ейлер, Ф. Енгессер, Ф. Ясинський, Л. Тетмайер, Т.

Карман, Ф. Шенлі та інші [1, 2]. Вони запропонували формули для визначення критичної сили і напруження, які є небезпечними для стиснутого стержня, в залежності від його гнучкості, матеріалу, способів закріплення кінців, схеми та виду навантаження.

Дослідження вчених показали, що, враховуючи можливу небезпеку миттєвого руйнування стиснутих елементів конструкцій та деталей машин внаслідок некерованого росту деформацій при граничному навантаженні, ці елементи слід розраховувати не тільки на міцність за умовою

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{st} \quad (1)$$

але й на стійкість

$$F \leq \frac{F_{cr}}{n_{st}}, \quad (2)$$

де коефіцієнт n_{st} приймається в залежності від матеріалу, форми перерізу, відповідальності конструкції та елемента (для сталі від 1,8 до 3,5; для чавуну від 5,0 до 6,0; для деревини від 2,8 до 3,2) [1, 2].

При розрахунках допустимого навантаження за умовою (2) необхідно знайти критичну силу F_{cr} , тобто найменшу осьову силу, яку спроможний утримати в рівновазі ледь викривлений стиснутий стержень.

Вперше це завдання вирішив Л. Ейлер [1, 2], який запропонував формулу для визначення критичної сили для стержня з шарнірним закріпленням з обох кінців (рис. 1):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l^2}. \quad (3)$$

Подальші дослідження показали, що значення критичної сили F_{cr} для стержнів суттєво залежить від способів закріплення їх кінців, тому Ф. Ясинський запропонував поняття про зведену (вільну) довжину μl [1, 2], тому формула (3) має вигляд

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2}. \quad (4)$$

Коефіцієнт зведення довжини стержня μ коливається в межах від 0,5 до 2 (рис. 1), а це означає, що за рівнянням (4) стержень, защемлений з обох кінців ($\mu = 0,5$), витримає у 16 разів більше навантаження, ніж такий же стержень, защемлений з одного кінця і вільний з іншого ($\mu = 2$).

Вищенаведені випадки закріплення кінців стержня (рис. 1) на практиці нечасто зустрічаються в чистому вигляді. Найбільш поширеними є випадки закріплення, коли один кінець стержня жорстко закріплений, а інший пружно опертий ($\mu = 0,7$), або коли обидва кінці пружно закріплені ($\mu = 1$) [1, 2].

Для проведення якісного технічного діагностування стиснутих елементів конструкцій та деталей машин слід врахувати вплив жорсткості опор на значення коефіцієнта зведення довжини μ та величину критичного навантаження F_{cr} .

Розглянемо випадок, коли один кінець стержня жорстко закріплений, а інший пружно опертий (рис. 2). Після втрати стійкості пружно опертий кінець стійки переміщується вертикально на величину f_b , при цьому виникає пружна реакція опори R_b , яка, в свою чергу, пропорційна відхиленню f_b :

$$R_b = C f_b,$$

де C – коефіцієнт жорсткості опори В.

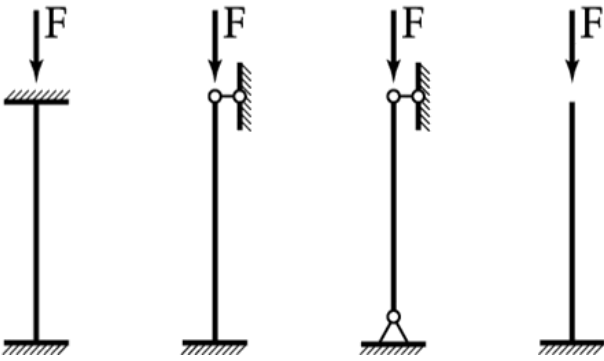


Рис. 1. Залежність коефіцієнтів зведення довжини від способу закріплення кінців стержня

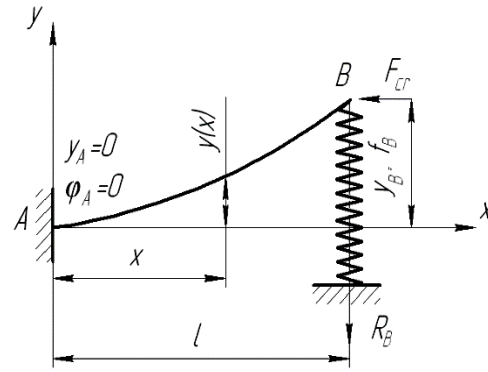


Рис. 2. Стиснутий стержень, зацмлений з одного кінця і пружно обертний з іншого

Складемо диференціальне рівняння пружної лінії стиснутого стержня після втрати стійкості:

$$EI_{\min} \frac{d^2 y}{dx^2} = F_{cr} (f_b - y) - cf_b (l - x). \quad (5)$$

Позначимо $k^2 = \frac{F_{cr}}{EI_{\min}}$. (6)

Тоді рівняння (5) матиме вигляд

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = k^2 (f_b - y) - \frac{cf_b}{EI_{\min}} (l - x)$$

або

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + k^2 y = k^2 f_b \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) - k^2 \frac{cf_b}{F_{cr}} x. \quad (7)$$

Рішенням цього диференціального рівняння є залежність

$$y = C \sin kx + D \cos kx + f_b \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) + \frac{cf_b}{F_{cr}} x. \quad (8)$$

Сталі інтегрування C і D та критичне навантаження F_{cr} визначимо з наступних трьох граничних умов:

при $x = 0$ переміщення і кут повороту перерізу дорівнюють нулю:

$$y(0) = y_A = 0; \quad (9)$$

$$\frac{dy}{dx} = \varphi(0) = \varphi_A = 0; \quad (10)$$

при $x = l$ переміщення дорівнюють відхиленню f_b (рис. 2)

$$y(l) = y_b = f_b. \quad (11)$$

За умовою (9) з рівняння (8) знаходимо

$$D = -f_b \left(1 - \frac{c}{F_{cr}} l\right).$$

Для використання граничної умови (10) визначимо похідну від переміщення y :

$$\frac{dy}{dx} = kC \cos kx - kD \sin kx + \frac{c}{F_{cr}} f_b,$$

звідки при $x = 0$

$$kC + \frac{c}{F_{cr}} f_b = 0 \text{ або } C = -\frac{c}{kF_{cr}} f_b.$$

Підставимо вирази для сталих інтегрування C і D у формулу (8) і отримаємо остаточне рівняння зігнутої осі стиснутого стержня

$$y(x) = -\frac{cf_b}{kF_{cr}} \sin kx + f_b \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) \cos kx + f_b \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) + \frac{cf_b}{F_{cr}} x. \quad (12)$$

Для визначення критичного навантаження F_{cr} , використаємо граничну умову (11). Таким чином, при $x = l$ з рівняння (12) маємо

$$y(l) = -\frac{cf_b}{kF_{cr}} \sin kl + f_b \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) \cos kl + f_b \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) + \frac{cf_b}{F_{cr}} l = f_b,$$

або

$$-\frac{c}{kF_{cr}} \sin kl - \left(1 - \frac{cl}{F_{cr}}\right) \cos kl = 0.$$

Після нескладних математичних перетворень одержимо рівняння

$$\operatorname{tg} kl = kl \left(1 - \frac{F_{cr}}{cl}\right), \quad (13)$$

розв'язавши яке, тобто визначивши найменший корінь k , можна знайти критичне навантаження, оскільки

$$F_{cr} = k^2 EI_{\min}. \quad (14)$$

Розглянемо два граничні випадки. Якщо $c = 0$, одержимо $\operatorname{tg} kl = \infty$ або $kl = \pi/2$, тобто маємо випадок, коли лівий кінець стержня жорстко закріплений, а правий – вільний, тоді $\mu = 2$ (рис. 1) і критична сила

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(2l)^2}.$$

Якщо $C = \infty$ (дуже жорстка опора), отримаємо $\operatorname{tg} kl = kl$. Розв'язавши це рівняння, маємо $kl = \pi/a$, де $a = 0,699155659643... \approx 0,7$, що дає формулу для стержня, один кінець якого защемлений, а інший – шарнірно обпертий (рис. 1), тоді $\mu = 0,7$ і критична сила

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(0,7l)^2}.$$

Таким чином, якщо коефіцієнт жорсткості опори c змінюється від нуля до нескінченності, то це можна врахувати коефіцієнтом зведення довжини μ , який при цьому відповідно змінюється від 2 до 0,7. Це означає, що із зростанням жорсткості опори зменшується коефіцієнт μ і збільшується стійкість стиснутого стержня та значення критичної сили, яку він спроможний витримати [1-5]. Виведемо залежність коефіцієнта зведення довжини μ від жорсткості опори C .

Для дослідження виберемо сталю стиснуту стійку квадратного поперечного перерізу 5×5 см. Визначимо її довжину, враховуючи те, що формула Ейлера (4) стосується тільки гнучких стержнів, в яких гнучкість $\lambda \geq 100$ [1, 2]. Оскільки

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}, \quad (15)$$

де i_{\min} – мінімальний радіус інерції квадратного поперечного перерізу стержня

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{a^4}{12a^2}} = \frac{a}{2\sqrt{3}},$$

тоді довжина стійки $l = \frac{\lambda i_{\min}}{\mu} = \frac{\lambda a}{2\sqrt{3}\mu}$; $l = \frac{100 \cdot 5}{2\sqrt{3} \cdot 0.7} = 206,2$ см.

Остаточно приймаємо стійку довжиною $l = 2,1$ м. Тоді найменша та найбільша гнучкості стержня відповідно становлять

$$\lambda_{\min} = \frac{0,699 \cdot 210 \cdot 2\sqrt{3}}{5} = 101,7 \quad \text{і} \quad \lambda_{\max} = \frac{2 \cdot 210 \cdot 2\sqrt{3}}{5} = 2910.$$

Жорсткість стержня при поздовжньому згинанні $EI_{\min} = 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,05^4}{12} = 0,10417$ МН·м², а критичне навантаження, яке витримає стійка при мінімальній жорсткості, тобто, при $\lambda_{\min} = 101,7$ складає

$$F_{cr} = \frac{3,14159^2 \cdot 0,10417}{(0,699 \cdot 2,1)^2} = 0,4771 \text{ МН} = 477,1 \text{ кН}.$$

$$\text{Параметр } k = \sqrt{\frac{F_{cr}}{EI_{\min}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2 EI_{\min}}} = \frac{\pi}{\mu l}; \quad k = \frac{3,14159}{0,699 \cdot 2,1} = 2,140 \text{ м}^{-1}, \text{ а}$$

жорсткість опори c можна визначити з рівняння (13)

$$c = \frac{kF_{cr}}{kl - \text{tg}kl}; \quad c = \frac{2,140 \cdot 477,1}{2,140 \cdot 2,1 - \text{tg}(2,140 \cdot 2,1)} = 177497,3 \text{ кН/м}.$$

Аналогічно знаходимо значення критичної сили F_{cr} , параметра k та жорсткості опори c при різних значеннях коефіцієнта зведення довжини μ від 0,7 до 2,0 з інтервалом 0,1. Результати розрахунків представляємо в таблиці.

Результати розрахунків на стійкість стиснутого стержня

Розміри поперечного перерізу, см	Довжина стійки, l , м	Дослідний коефіцієнт, μ	Гнучкість стержня, λ	Критична сила, F_{cr} , кН	Параметр, k , м ⁻¹	Жорсткість опори, c , кН/м	Теоретичний коефіцієнт зведення довжини μ^{th}	Похибка $ \delta $, %
5,0×5,0	2,1	0,699	101,7	477,1	2,140	177497,3	0,699	0,00
		0,700	101,8	475,8	2,137	9528,8	0,704	0,57
		0,800	116,4	364,3	1,870	232,7	0,890	11,25
		0,900	130,9	287,8	1,662	153,0	0,969	7,67
		1,000	145,5	233,1	1,496	111,0	1,044	4,40
		1,100	160,0	192,7	1,360	83,2	1,121	1,91
		1,200	174,6	161,9	1,247	63,2	1,203	0,25
		1,300	189,1	137,9	1,151	48,1	1,290	0,77
		1,400	203,7	118,9	1,069	36,3	1,381	1,36
		1,500	218,2	103,6	0,997	27,0	1,476	1,60
		1,600	232,8	91,1	0,935	19,4	1,575	1,56
		1,700	247,3	80,7	0,880	13,2	1,677	1,35
		1,800	261,9	72,0	0,831	8,06	1,782	1,00
		1,900	276,4	64,6	0,787	3,71	1,890	0,53
2,000	291,0	58,3	0,748	0,000161	2,000	0,00		

За табличними даними будемо графік залежності жорсткості опори C від коефіцієнта

зведення довжини стержня μ (рис. 3), який підтверджує те, що для підвищення стійкості стиснутого елемента (зменшення коефіцієнта μ) необхідно збільшити жорсткість опори C .

Цей графік має вигляд гіперболи, тому, враховуючи умови, що при $c = 0 \mu = 2$ і при $C = \infty \mu = 0,699$, а також табличні дані досліджень стійкості стиснутих елементів, функцію $\mu = f(c)$ з достатньою для практичних розрахунків точністю можна подати у вигляді

$$\mu = 0,699 + \frac{1,301}{0,025c + 1}, \quad (16)$$

де C – коефіцієнт жорсткості опори, який вимірюється в кН/м.

Використовуючи рівняння (16), будемо графік залежності коефіцієнта зведення довжини стержня μ від жорсткості опори C (рис. 4). Крива $\mu = f(c)$, яка як і функція $c = f(\mu)$, має вигляд гіперболи, також свідчить про зменшення коефіцієнта μ (тобто, підвищення стійкості стержня) із зростанням жорсткості опори. Значення теоретичних коефіцієнтів зведення довжини μ^{th} , одержаних за формулою (16), мало чим відрізняються від дослідних коефіцієнтів μ у таблиці (середня арифметична похибка $\delta_m = 2,28\%$, середня квадратична – $\sigma_m = 3,82\%$), а якщо не враховувати дані в інтервалі $\mu = 0,8...1,0$, ці похибки взагалі знаходяться в межах одного відсотка ($\delta_m = 0,91\%$ та $\sigma_m = 1,10\%$). Це означає, що розраховуючи критичне навантаження за відомою формулою (4), коефіцієнт зведення довжини стержня μ можна визначити за рівнянням (16), враховуючи жорсткість опори C .

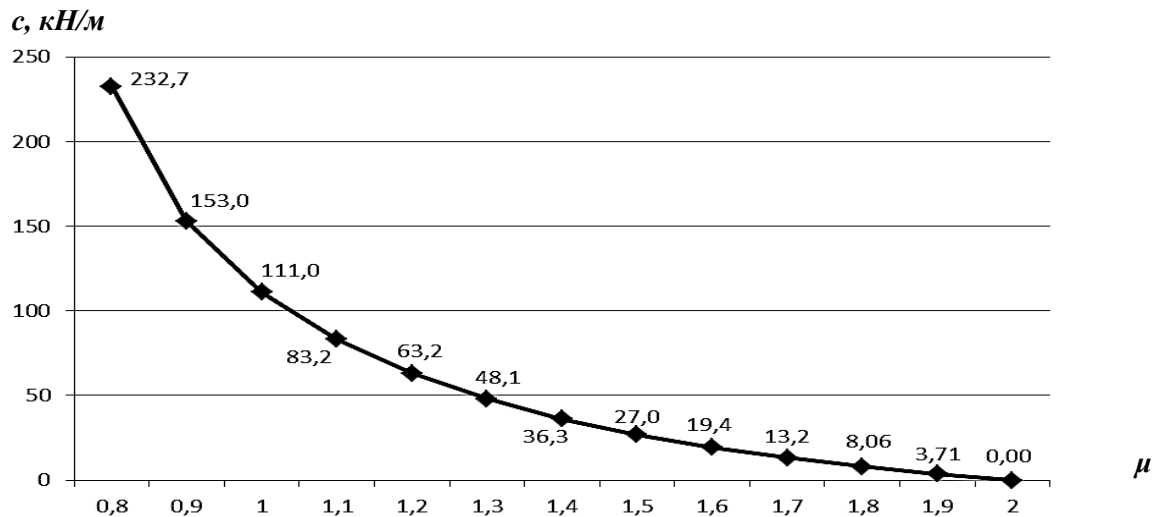


Рис.3 Залежність жорсткості опори c від коефіцієнта зведення довжини μ

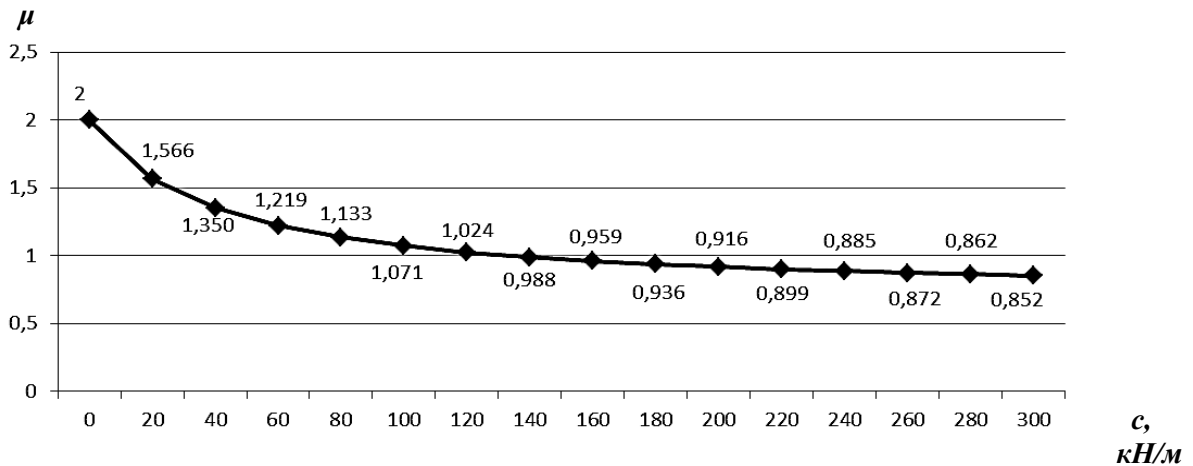


Рис. 4. Залежність коефіцієнта зведення довжини μ від жорсткості опори c

Важливо також відзначити, що коефіцієнт μ суттєво впливає на значення критичної сили, оскільки у формулі Ейлера (4) він стоїть у квадраті. Це означає, що у випадку, коли $c = \infty$ ($\mu = 0,7$), стійка витримає навантаження у $2^2/0,7^2 = 8,2$ рази більше, ніж при $c = 0$ ($\mu = 2$). Графік $\mu = f(c)$ показує, що збільшення жорсткості опори c від нуля до 100 кН/м (рис. 4) більш суттєво впливає на значення коефіцієнта μ та збільшення критичної сили ($2^2/1,071^2 = 3,5$ рази), ніж від 100 до 300 кН/м ($1,071^2/0,852^2 = 1,6$ рази), що слід враховувати при проведенні технічного діагностування стиснутих стержнів.

Таким чином,

1. Досліджуючи стиснуті елементи конструкцій та деталей машин, слід звернути увагу не тільки на умови закріплення кінців стержнів (рис. 1), але й на жорсткість опори, яка може знаходитися в межах від нуля до нескінченності, що враховується коефіцієнтом зведення довжини μ , який при цьому відповідно змінюється від 2 до 0,7.

2. Розраховуючи критичне навантаження за формулою (4), а також гнучкість стержня λ за формулою (15), коефіцієнт зведення довжини стержня μ з достатньою для практичних розрахунків точністю можна визначити за рівнянням (16), враховуючи жорсткість опори c .

3. Для підвищення стійкості стиснутого елемента необхідно збільшити жорсткість опори, враховуючи особливості графіка $\mu = f(c)$ щодо зменшення впливу на коефіцієнт μ значних величин жорсткості c (рис. 4).

4. Дані щодо умов закріплення кінців стержня та жорсткості опор можна використати в подальших дослідженнях стійкості елементів, зокрема, при визначенні коефіцієнтів поздовжнього згинання [6-10], проектуванні стиснутих елементів сталого та змінного поперечних перерізів [4], раціональних форм суцільних і складених перерізів для стиснутих конструкцій та їх елементів [5] тощо. Ці розробки дозволять підвищити надійність та довговічність елементів конструкцій та деталей машин і запобігти багатьом аваріям і катастрофам в майбутньому.

Перелік використаної літератури:

1. Писаренко Г. С. Опір матеріалів / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; за ред. Г. С. Писаренка. – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
2. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев; отв. ред. Г. С. Писаренко. – К.: Наукова думка, 1988. – 736 с.
3. Кондель В. Дослідження стійкості сталених стиснутих елементів конструкцій з урахуванням умов їх закріплення та жорсткості опор / В. Кондель, А. Павліченко // Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. – 2011. – Т. 16. – № 4. – С. 18 – 27.
4. Кондель В. М. Дослідження стійкості сталених стиснутих елементів сталого та змінного поперечних перерізів / В. М. Кондель, А. І. Павліченко // Фізико-математичні науки: Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: КНУ, 2011. – № 4. – С. 76–79.
5. Кондель В. М. Дослідження стійкості елементів конструкцій та деталей машин раціональних складених перерізів / В. М. Кондель, Р. Т. Холодков, М. М. Шевчук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сборник научных трудов. – Выпуск 68. – 2015. – С. 50 – 56.
6. Кондель В. М. Аналіз коефіцієнтів поздовжнього згину з урахуванням міцності сталі / В. М. Кондель, Ю. О. Шевченко, Д. О. Лобода // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сборник научных трудов. – Выпуск 72. – 2016. – С. 118 – 123.
7. Кондель В. М. Дослідження коефіцієнтів поздовжнього згинання з урахуванням міцності сталі для запобігання надзвичайним ситуаціям / В. М. Кондель, Ю. О. Шевченко, Д. О. Лобода // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : збірник наукових праць. – № 13. – 2016. – С. 79 – 86.
8. Васильченко В. Т. Справочник конструктора металлических конструкций / В. Т. Васильченко, А. Н. Рутман, Е. П. Лукьяненко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Будівельник, 1990. – 312 с.
9. Лихтарников Я. М. Расчет стальных конструкций : справочное пособие / Я. М. Лихтарников, Д. В. Ладыженский, В. М. Клыкков – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Будівельник, 1984. – 368 с.
10. Николаев Г. А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование : учеб. [для студ. вузов.] / Г. А. Николаев, В. А. Винокуров; под ред. Г. А. Николаева. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.