

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН У ВИГЛЯДІ ГОФРОВАНІХ КОРОБЧАСТИХ БАЛОК

Калінін Є.І., Петров Р.М.

*Харківський національний технічний університет сільськогосподарства імені
Петра Василенка*

В роботі розроблено метод розрахунку на вигин поперечно по поздовжньо гофрованих балок, при редуванні їх площі, який дозволяє з достатньою для практики точністю здійснювати розрахунки останніх. За запропонованими формулами можуть бути визначені величини редуційних коефіцієнтів для обшивок поперечно гофрованих балок. Окрім того, в роботі запропоновано методіку розрахунку елементів гофру таких балок.

Ключові слова: несучий елемент, сільськогосподарська машина, гофрована балка, напруження

Актуальність проблеми

Для сучасних сільськогосподарських агрегатів характерним є зростання продуктивності за рахунок збільшення робочих швидкостей [1, 2]. Однак, в кінцевому рахунку, це призводить до зростання робочих навантажень, що діють на машину. [3, 4, 8] Досвід експлуатації сучасних сільськогосподарських агрегатів вказує на те, що збільшення зовнішніх навантажень призводить до появи втомних тріщин в металоконструкціях машини. Це пов'язано з тим, що при проектуванні несучих металоконструкцій не враховується динамічна складова навантаження машини і фактори, що впливають на формування напружено-деформованого стану її елементів.

Аналіз останніх досліджень

Одним з основних факторів, що впливають на несучу здатність тонкостінних коробчастих балок, що застосовуються в якості рамних елементів в великогабаритних сільськогосподарських машинах, є зварювальні деформації і тип гофрування обшивки [5, 6]. Дослідженню зварювальних деформацій і їх впливу на несучу здатність коробчастих балок присвячені роботи [6, 7]. Встановлено, що зварювальні деформації викликають втрату стійкості елементів перетину і знижують несучу здатність балки.

Для зменшення шкідливого впливу цих деформацій було застосовано гофрування обшивок коробчастих балок. Результати дослідження несучої здатності гофрованих балок розглянуті в роботах [5 – 7]. Однак, на даному етапі проектування виникає питання точності та правильності розрахунку на вигин балок з гофрованою обшивкою.

Формулювання мети дослідження

Тому, метою дослідження є формування методіки розрахунку балок з поперечно і поздовжньо гофрованою обшивкою на вигин.

Результати дослідження

Балка з поперечно гофрованою обшивкою. Розглянемо епюри нормальних напружень, отримані тензومتруванням при вигині поперечно гофрованих балок (рис. 1) [7].

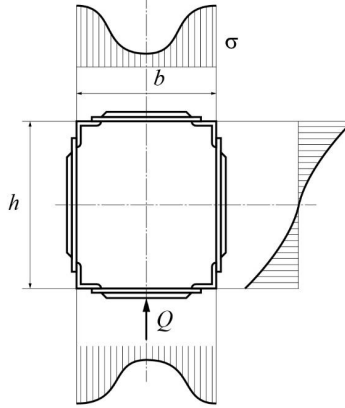


Рис.1. Розподіл нормальних напружень в перерізі поперечно гофрованої балки

З характеру епюр випливає, що напруження як в горизонтальній, так і в вертикальній обшивці розподіляються за параболическим законом.

Пояснюється це тим, що поперечні гофри значно знижують жорсткість обшивки на розтягнення-стиснення, вимикаючи її з активного сприйняття напружень.

Для дослідження і розрахунку балок з поперечно гофрованою обшивкою застосуємо метод редукування площі поперечного перерізу, а для аналізу роботи балки розглянемо роботу кожної панелі окремо.

Горизонтальна панель. Досліджувалися панелі з ферменим і хрестоподібним розташуванням гофрів. Розрахункова схема панелі представлена на рис. 2, а. Очевидно, що переріз, що проходить через поперечний гофр, буде найбільш небезпечним. Розподіл в ньому нормальних напружень показаний на рис. 2, б.

В цьому перерізі можна виділити три характерних ділянки: b_1 , b_2 і b_3 . Для визначення редуційного коефіцієнта обшивки панелі може бути запропонована формула виду:

$$\varphi_{заг} = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n b_i} = \frac{2(b_1 \varphi_1 + b_2 \varphi_2) + b_3 \varphi_3}{b_2}, \quad (1)$$

де b_i – ширина i -ої редуційної ділянки; φ_i – редуційний коефіцієнт i -ої ділянки; n – число редукованих ділянок; b_2 – ширина горизонтальної панелі.

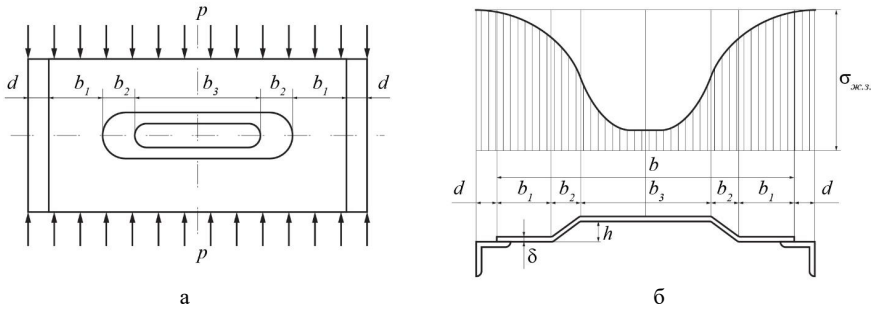


Рис.2. Горизонтальна панель: а – розрахункова схема панелі; б – розподіл нормальних напружень в перерізі поперечного гофра

Експериментальні значення редукційних коефіцієнтів визначалися за формулою виду:

$$\varphi = \frac{\int_{b_1}^{b_2} \sigma_x dx}{b_1 \sigma_{\text{ж.з.}}}, \quad (2)$$

де σ_x – поточне значення напруження; $\sigma_{\text{ж.з.}}$ – напруження в жорсткому зв'язку (кутку); b_1 і b_2 – межі ділянки.

Якщо плоска ділянка b_1 не має початкового прогину і не перевищує максимальної величини приєданого паска, то для неї редукційний коефіцієнт $\varphi_1 = 1$. Величина t зазвичай приймається рівною $(20 \dots 30)\delta$. Отримана експериментально величина φ_1 дорівнює 0,92 ... 0,98.

Для ділянки b_2 при лінійному розподілі напружень мінімальне φ_2 значення знаходиться за формулою виду:

$$\varphi_{2\text{min}} = 0,5 + 0,5\varphi_3. \quad (3)$$

Експериментально максимальна величина $\varphi_{3\text{max}} = 0,72 \dots 0,76$. При відсутності зв'язку між ділянками гофра мінімальна величина коефіцієнта φ визначиться з виразу виду:

$$\varphi_{3\text{min}} = \frac{1}{K_x}, \quad (4)$$

де K_x – коефіцієнт, що характеризує зменшення жорсткості гофрованої ділянки по відношенню до плоскої.

Для досліджених гофрів величина φ_3 знаходиться в інтервалі 0,05 ... 0,033.

Вертикальна панель. Редукційний коефіцієнт для вертикальної обшивки $\varphi_{\text{вер}}$ представимо як відношення згинального моменту, практично сприйнятого гофрованою обшивкою – $M_{\text{д}}$ до моменту, що сприймається гладкою обшивкою $M_{\text{г}}$, яка повністю включена в роботу:

$$\varphi_{вер} = \frac{M_{\partial}}{M_c}. \quad (5)$$

При приведенні площі вертикальної обшивки до редукованої площі горизонтальної обшивки величина приведенної ширини для верхньої панелі визначалася за формулою виду:

$$b_{пр.в.} = \frac{M_{\partial.в.}}{\sigma_{ж.з.} \delta (b_{\partial} + d)}, \quad (6)$$

де $M_{\partial.в.}$ – момент, що сприймається верхньою частиною вертикальної обшивки; b_{∂} – ширина верхньої частини вертикальної обшивки; d – ширина кутка, непокритого обшивкою.

Для одних і тих же перетинів розбіжності між редуційними коефіцієнтами вертикальної і горизонтальної обшивок не перевищують 10...15%.

Нехай відомі згинальні моменти M_x , M_y і осьова сила P_{oc} , що діють в даному перетині. Дано розміри елементів перетину і гофрів обшивки. Площі перетину поясних кутків F'_y і F''_y різні (рис. 3). Для даного випадку можна рекомендувати наступний порядок розрахунку балки при вигині.

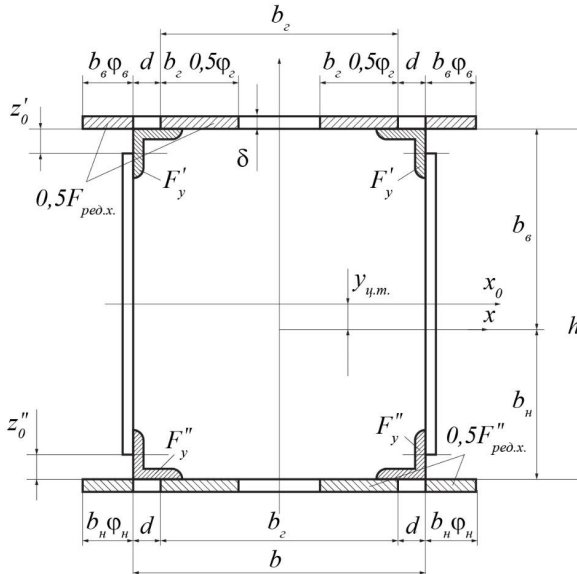


Рис.3. Редукований перетин балки при редукуванні відносно вісі

Розрахунок положення центру тяжіння редукованого перетину – $y_{ц.т.}$ ведеться методом послідовних наближень. В першому наближенні приймається, що ширина верхньої і нижньої частини вертикальної обшивки однакова, тобто $b_{\partial} = b_{\partial} = \frac{h}{2} - d$. Тоді положення центру тяжіння визначиться з виразу виду:

$$y_{ц.м.} = \frac{F'_y \left(\frac{h}{2} - z'_0 \right) - F''_y \left(\frac{h}{2} - z''_0 \right)}{2(F'_y + F''_y)\varphi_y + 2b_2\varphi_2 + 2\frac{h-2d}{3}\frac{h-4d}{h+4d}}, \quad (7)$$

де z'_0 і z''_0 – відстань від полки до центру тяжіння перерізу верхнього і нижнього поясного кутка відповідно; φ_y – редукційний коефіцієнт поясних кутків, зазвичай $\varphi_y = 0,9 \dots 1,0$; φ_2 – редукційний коефіцієнт горизонтальної панелі обшивки.

У другому наближенні положення центру тяжіння визначиться за формулою:

$$y_{ц.м.} = \frac{1}{F'_{ред.х} + F''_{ред.х}} \left[F'_y \left(\frac{h}{2} - z'_0 \right) + \frac{b_e b_e - d}{3 b_e + d} \varphi_6 h - F''_y \left(\frac{h}{2} - z''_0 \right) + \frac{b_n b_n - d}{3 b_n + d} \varphi_n h \right]. \quad (8)$$

Точність розрахунку можна вважати задовільною, якщо відмінність між двома останніми значеннями не перевищує 5%.

Редуковані моменти інерції перерізу $J_x^{ред}$ і $J_y^{ред}$ відносно його нейтральних вісей x та y обчислюються за формулах виду:

$$J_x^{ред} = \sum_{i=1}^n J_{xi}^{ред}, \quad J_y^{ред} = \sum_{i=1}^n J_{yi}^{ред}, \quad (9)$$

де $J_{xi}^{ред}$ і $J_{yi}^{ред}$ – редуковані моменти інерції i -го елемента перерізу відносно вісей x та y , відповідно.

Максимальне нормальне напруження в найбільш напруженому елементі редукованого перетину визначиться з виразу:

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{oc}}{F_{ред}} + \frac{M_x}{J_x^{ред}} \left(\frac{h}{2} + y_{ц.м.} \right) + \frac{M_y}{J_y^{ред}} \frac{b}{2}. \quad (10)$$

Балка з поздовжньо гофрованою обшивкою. Розглянемо випадок спільної дії поперечного і поздовжнього навантаження на поздовжньо гофровану обшивку коробчастої балки.

Найбільш напруженими елементами гофра є його горизонтальні грані. Величина сумарного нормального напруження в горизонтальній грані визначиться з виразу виду:

$$\sigma_{сум} = \sigma_{м.х} + \mu\sigma_{м.у} + \sigma_{заг.х}, \quad (11)$$

де $\sigma_{м.х}$ – місцеві нормальні напруження, які спрямовані вздовж вісі гофрів (по вісі x), що виникають від вигину гофра як балки; $\sigma_{м.у}$ – місцеві нормальні напруження згину, які викликані вигином горизонтальної грані, що спрямовані перпендикулярно вісі гофрів (по вісі y); $\sigma_{заг.х}$ – нормальні напруження, що виникають від загального вигину балки, які діють по вісі гофрів (по вісі x).

Розподіл напружень $\sigma_{м.х}$, $\sigma_{м.у}$ та $\sigma_{заг.х}$ по ширині горизонтальної грані показано на рис. 4.

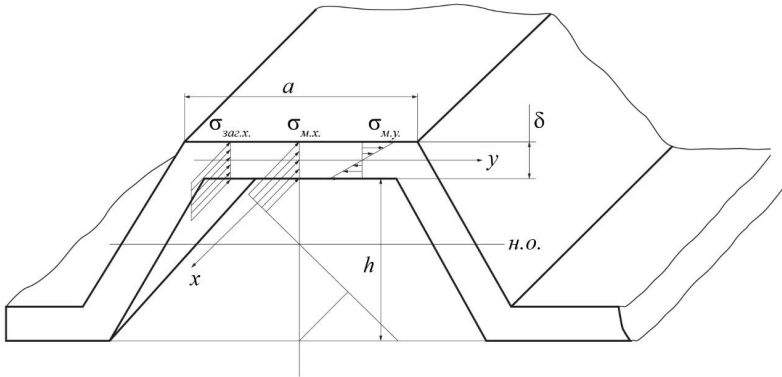


Рис.4. Розподіл напружень по ширині горизонтальної грані гофру

Умова міцності матеріалу горизонтальної грані набуде вигляду:

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_{\text{м.х}} + \mu\sigma_{\text{м.у}} + \sigma_{\text{зад.х}} \leq [\sigma]_{\text{сум}}. \quad (12)$$

Напруження $\sigma_{\text{м.х}}$, $\sigma_{\text{м.у}}$ та $\sigma_{\text{зад.х}}$ можуть мати різні знаки. Величини цих напружень знайдуться за формулами виду:

$$\sigma_{\text{м.х}} = \frac{M_{\rho}}{W_{\rho}}; \quad (13)$$

$$\sigma_{\text{м.у}} = 0,5q \left(\frac{a}{\delta} \right)^2 \left[1 - \frac{b}{a} + \left(\frac{b}{a} \right)^2 \right]; \quad (14)$$

$$\sigma_{\text{зад.х}} = \frac{M_{\bar{\sigma}}}{W_{\bar{\sigma}}}. \quad (15)$$

де M_{ρ} – згинальний момент в даному перетині гофру; W_{ρ} – момент опору гофру; q – рівномірно розподілене навантаження, що припадає на найбільш навантажений гофр; $M_{\bar{\sigma}}$ – згинальний момент в даному перетині балки; $W_{\bar{\sigma}}$ – момент опору балки.

При призначенні і розрахунку елементів гофру товщині гофрованої обшивки δ зазвичай вибирається з технологічних і конструктивних міркувань і коливається в межах від 1,2 до 3 мм. З урахуванням всіх вимог вибирається мінімально можлива товщина δ ; кут похилої грані гофру γ для трапецієподібних гофрів зазвичай приймається рівним 60° . Цей кут є найбільш раціональним при дії поперечного навантаження [6]; максимально допустима ширина горизонтальної межі визначиться з умови збереження місцевої стійкості [6].

Мінімальну висоту гофру h_{min} вибираємо, виходячи з необхідного моменту опору W найбільш напруженого гофру:

$$h_{\text{min}} = \left(\sqrt{9a^2 + \frac{12W_0}{\delta \sin \gamma}} - 3a \right) \frac{\sin \gamma}{2}. \quad (16)$$

Загальна стійкість гофрованої обшивки перевіряється за формулами роботи [5].

Висновки

Метод розрахунку на вигин поперечно гофрованих балок, при редуванні їх площі, дозволяє з достатньою для практики точністю здійснювати їх розрахунки. Величини редуційних коефіцієнтів для обшивок поперечно гофрованих балок можуть бути визначені за запропонованими формулами. Окрім того, в роботі запропоновано методику розрахунку елементів гофру поздовжньо гофрованих балок.

Список використаних джерел

1. Лебедев А.Т. Динамічна модель ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів з пасивними робочими органами у складі енергетичного засобу зі здвоєними шинами / А.Т. Лебедев, Є.І. Калінін // Системи обробки інформації. – 2010. – № 2. – С. 109-115.
2. Калінін Є.І. Частотний аналіз коливань гусеничних тракторів / Є.І. Калінін // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. – 2018. – №. 22 (36). – С. 86-91.
3. Калінін Є.І. Частотно-динамічна математична модель тракторного агрегату з передачею крутного моменту до рушів сільськогосподарської машини / Є.І. Калінін // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2015. – Вип. 156. – С. 327-334.
4. Калінін Є.І. Дослідження перехідних процесів в коробці змінних передач мобільного енергетичного засобу / Є.І. Калінін, М.Л. Шуляк, І.О. Шевченко // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – 2016. – Вип. 168. – С. 73-79.
5. Рублев В.С. Применение тонкостенных коробчатых балок в качестве несущих элементов сельхозмашин / В.С. Рублев, В.А. Терликов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М.: ТИС, 1966. – №5. – С. 15-21
6. Рублев В.С. Прочность тонкостенных коробчатых балок при действии сварочных деформаций / В.С. Рублев // Сварочное производство. – М., 1966. – №4. – С. 10-15
7. Васильев А.А. Прочные судовые гофрированные перегородки / А.А. Васильев. – М.: Судостроение, 1964. – 263 с.
8. Калінін Є.І. Формування умови стійкості лінійної системи при випадкових збуреннях її параметрів / Є.І. Калінін, В.М. Романченко, Г.П. Юр'єва // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів – 2017. – № 7. – С. 100 -108.

Abstract

RESEARCH OF NURSING ELEMENTS OF AGRICULTURAL MACHINES IN THE VIEW OF CORRUGATED BOX BEAMS

E.Kalinin, R.Petrov

The method of calculation of bending transversely along longitudinally corrugated beams is developed in the work, at reduction of their area, which allows to calculate the latter with sufficient for practice accuracy. The proposed formulas can determine the magnitude of the reduction coefficients for the sheaths of transversely corrugated beams. In addition, the paper proposes a method of calculating the corrugation elements of such beams.

Keywords: bearing element, agricultural machine, corrugated beam, tension