

УДК 621.873, 874

Мартовицький Л.М., к.т.н.; Глушко В.І., к.т.н.; Сочава А.І., к.т.н.;
Клименко Г.В., ст.викл.; Шаніна З.М., к.фіз.-мат.н.;
Коцюк Є.В., магістр; Зеленська А.Г., магістр
Запорізький національний технічний університет

СТІЙКІСТЬ СТІНОК КОРОБЧАСТИХ ПРОГІННИХ КРАНОВИХ БАЛОК

Анотація. Розроблена коробчаста прогінна кранова балка з поперечними діафрагмами, які змінюють крок розміщення вздовж балки та кут нахилу до горизонталі у відповідності до орієнтації хвиль місцевої втрати стійкості стінок.

Ключові слова: коробчасті кранові балки, стінки балок, місцева втрата стійкості, діафрагми.

Аннотация. Разработана коробчатая пролетная крановая балка с поперечными диафрагмами, которые меняют шаг размещения вдоль балки и угол наклона к горизонталю в соответствии с ориентацией волн местной потери устойчивости стенок.

Ключевые слова: коробчатые крановые балки, стенки балок, местная потеря устойчивости, диафрагмы.

Abstract. A box-like flight path crane beam with transverse diaphragms that change step placement along the beam and angle to the horizontal in accordance with the orientation of the waves of the local loss of stability of the walls.

Tags: box-girder crane, wall beams, local buckling, the diaphragm.

Постановка проблеми.

Прогінні балки кранів мостового типу (рис.1) під час експлуатації навантажуються зовнішніми стаціонарними та рухомими силами, що призводять до виникнення в балках внутрішніх силових факторів, якими є поперечні сили Q та згинальні моменти M . Поперечні сили мають найбільші значення в опорних частинах і далі зменшуються до мінімуму в середині прогону балки. Ці сили викликають місцеву втрату стійкості стінок балки, що проявляється у виникненні діагональних хвиль деформації стінок 7.

Згинальний момент, навпаки, збільшується від мінімуму на опорах до максимального значення в середині прогону балки. Згинальний момент викликає місцеву втрату стійкості в стиснутих верхніх частинах стінок балки, що проявляється у виникненні поздовжніх хвиль деформації стінок 8.

В існуючих прогінних балках коробчастої конструкції, особливо важко навантажених, розміщені з рівномірним кроком поперечні вертикальні діафрагми 5. Крім того, на відстані $0,25 H_c$ від верхнього поясу приварюють до кожної стінки хоча б одне поздовжнє ребро 6. Для виготовлення таких балок необхідно здійснити велику кількість різнотипних зварювальних операцій, при цьому наявний різновид ребер та діафрагм, напрям розміщення яких не співпадає з напрямом можливого виникнення хвиль місцевої втрати стійкості стінок.

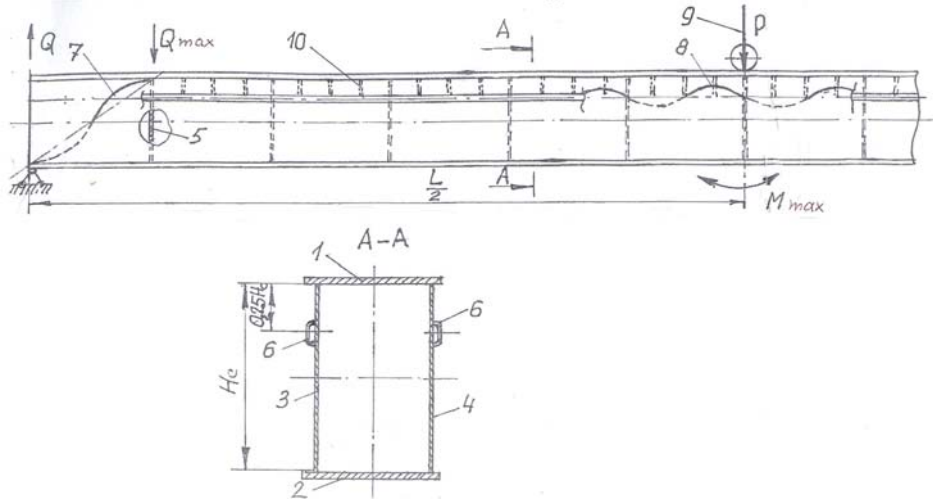


Рисунок 1 – Прогінна кранова балка традиційної конструкції

Мета роботи.

Для спрощення конструкції та підвищення технологічності була поставлена задача розробити прогінну балку вантажопідйомного крана, яка б забезпечувала при цьому місцеву стійкість стінок.

Виклад основного матеріалу.

Пропонується для найбільш ефективного попередження виникнення хвиль місцевої втрати стійкості стінок у балках важко завантажених кранів розміщувати діафрагми вздовж можливого напрямку виникнення хвиль деформації, для чого балка оснащується тільки поперечними діафрагмами, крок розміщення яких зменшується від опор до середини балки, а кут нахилу діафрагм відповідає напрямку можливого виникнення хвиль місцевої втрати стійкості стінок у різних перетинах та збільшується до середини балки. Крок розміщення та кут нахилу діафрагм відповідає відомому співвідношенню вільної висоти стінки в середніх відсіках балки до товщини стінки

$$\frac{h_i}{\delta_c} \leq 200 \sqrt{\frac{210}{R}},$$

де R - розрахунковий опір сталі стінки, МПа;

h_i - вільна висота стінки, м;

δ_c - товщина стінки, м.

Запропоновано балку (рис.2), яка включає поперечні діафрагми 5, що встановлені в балці, крок розміщення яких рівномірно зменшується від опор ($l_i = H_c$) до середини балки, а кут їх нахилу до горизонталі рівномірно збільшується від $\alpha_i = 45^\circ$ в опорних до $\alpha_i = 135...150^\circ$ в середніх відсіках балки, у відповідності до напрямку можливого виникнення хвиль деформації стінок, які призводять до місцевої втрати стійкості стінок.

Отже, за рахунок застосування лише поперечних діаграм, крок розміщення яких рівномірно зменшується від опорних відсіків до середини балки та зміни кута їх нахилу до горизонталі забезпечується стійкість стінки, а, відповідно, і всієї конструкції.

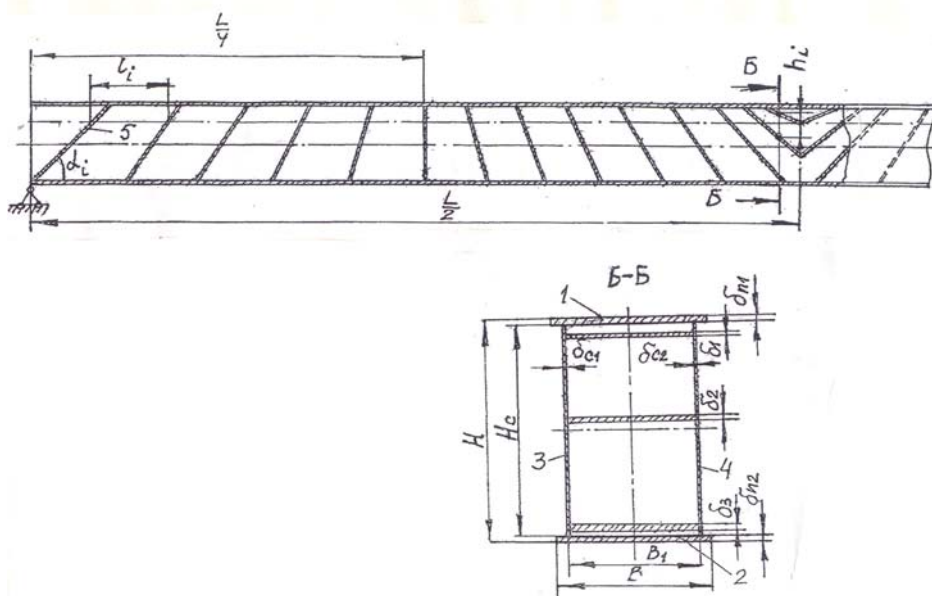


Рисунок 2 – Запропонована конструкція прогінної балки з похилими діафрагмами

Альтернативою двостінчастій балці по забезпеченості місцевої стійкості стінок та простоті технології виготовлення одностінчастої конструкцій може бути використання в балках гофрованих стінок. Технологія виготовлення гофрованої стінки та з'єднання її з верхнім і нижнім поясом добре відпрацьована і без особливих проблем піддається автоматизації, що забезпечує високоякісне з'єднання та зниження собівартості продукції.

Подібні балки відомі і досить широко використовують в будівництві. Найбільш поширеними балками з гофро-стінками є Sin-балки. Sin-балка (рис.3,а), далі гофро-балка, являє собою різновид

зварних двотаврів зі стінкою із хвилясто-профільованого листа і поясами із смугової сталі.

Попередні експериментальні дослідження гофро-балок вітчизняні і закордонні довели, що нормальні напруження σ_x від згину сприймаються практично тільки поясами балки і дуже швидко падають, практично, до нуля, так як стінка поперек гофри не має опору, а дотичні напруження розподіляються майже рівномірно (рис.3,б). Головною перевагою гофро-балки є здатність зберігати місцеву стійкість стінки без ребер жорсткості, яка збільшується із ростом амплітуди хвилі гофро-стінки.

Sin-гофру можна описувати параметром

$$S = \frac{D}{A},$$

де D - довжина повного періоду гофро-хвилі, м;
 A - амплітуда гофро-хвилі, м.

Гнучкість гофро-стінки λ_e пропонується оцінювати за гнучкістю її базового елемента, тобто однієї гофро-хвилі, виходячи з умов

$$\lambda_e = \frac{h_c}{i_x} \leq 80,$$

де h_c - приведена висота стінки, м;
 i_x - радіус інерції гофро-хвилі, м.
Для даного випадку

$$i_x \geq \frac{h_c}{80} = \sqrt{\frac{J}{F}},$$

звідки $J \geq \left(\frac{h_c}{80}\right)^2 \cdot F = k_j \cdot \pi \cdot A \cdot \delta \cdot \left(A^2 + \frac{\delta^2}{4}\right),$

де k_j - коефіцієнт, який залежить від параметра гофро-хвилі

$$S = \frac{D}{A};$$

D - довжина (крок) гофро-хвилі, м;
 A - амплітуда гофро-хвилі, м;
 δ - товщина гофро-листа, м.

Кафедрою «Деталі машин і ПТМ» ЗНТУ були проведені теоретичні дослідження статичних напружень та прогинів балки від зосередженого вантажу для порівняльної оцінки моментів інерції опору традиційних та гофро-балок, тобто вантажних характеристик їх.

А також проведено порівняння можливостей втрати місцевої стійкості плоскої та гофрованої стінок методом кінцевих елементів. Отримані епюри напруження та переміщення балок з гофрованою та плоскою стінками.

Статичний аналіз демонструє перевагу традиційної балки з плоскою стінкою, що проявляється у меншому прогині на 33,6% і, відповідно, у менших напруженнях в поясах.

При однакових умовах максимальне напруження гофрованої стінки в 10,43 рази більше ніж максимальне напруження плоскої стінки, а переміщення, відповідно, більші в 31,7 разів. Напруження в гофрованій стінці зосереджуються на перегінах. Місцева стійкість гофрованої стінки на дію тиску коліс вантажного візка суттєво більша ніж плоскої стінки. Отже достатня місцева стійкість стінки дозволяє не застосовувати ребра жорсткості, що суттєво підвищує технологічність виготовлення та зменшує металоємність балки.

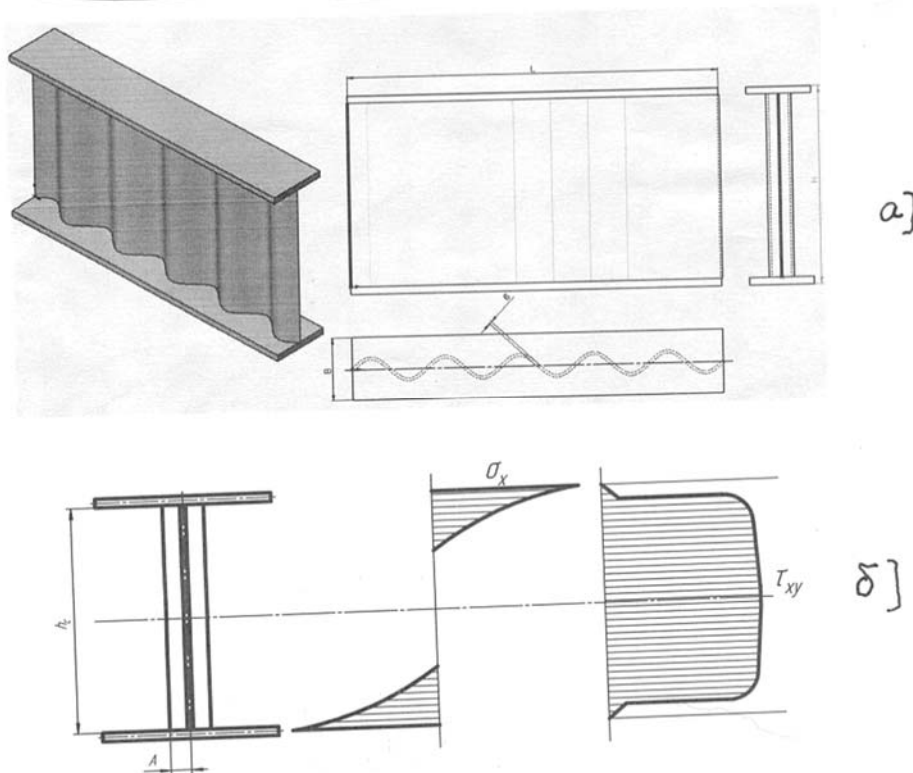


Рисунок 3 – Можлива прогінна кранова балка з гофро-стінкою

Головним недоліком гофро-стінки є дуже малий момент опору та момент інерції поперечного перетину, на дію розтягуючих та стискаючих балку осьових сил, через що навантажена балка має більший прогин на напруження від дії згинального моменту. Цей недолік можна компенсувати за рахунок збільшення висоти балки, чи

збільшення площі поперечного перетину поясу, що може бути раціональним у певних випадках.

Висновки

Шляхом розміщення поперечних діафрагм у коробчастих прогінних кранових балках із змінним кроком та кутом нахилу до горизонталі, у відповідності до орієнтації хвиль місцевої втрати стійкості стінок, зменшується кількість зварних операцій, скорочується номенклатура діафрагм та ребер із забезпеченням стійкості стінок.

Використання гофрованих стінок головних балок дозволить зовсім виключити з конструкції діафрагми. А це, в свою чергу, зменшує матеріалоемність та підвищує технологічність виготовлення при збереженні несучої здатності. Відсутність діафрагм обумовлює меншу кількість зварних швів, що збільшує експлуатаційну надійність конструкції та зменшує затрати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Л.: Машиностроение, 1969.
2. Патент України на корисну модель № 104692. Бюл.№3, 2016. Прогінна балка вантажопідйомного крана / Л.М. Мартовицький, В.І. Глушко, З.М. Шаніна, А.Г. Зеленська.
3. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів / НПАОП 0.00-1.01-07.