

УДК 624.072.014.2

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО – ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ ТА ГРАНИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПЕРФОРОВАНИХ БАЛОК МЕТОДОМ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN DEFORMED STATE AND LIMIT LOADS OF PERFORATED BEAMS USING THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

Підгурський М. І., д.т.н., проф. (Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль), **Слободян В. В., аспірант** (Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль)

Пидгурский Н. И., д.т.н., проф. (Тернопольский национальный технический университет им. И. Пулюя, г. Тернополь), **Слободян В. В., аспирант** (Тернопольский национальный технический университет им. И. Пулюя, г. Тернополь)

Pidgurskyi M. I., doctor of technical sciences, professor (Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil), **Slobodian V. V., graduate** (Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil)

Методом скінчених елементів досліджено напружено – деформівний стан та граничні навантаження балок з шестикутною, круглою, різновидами еліпсовидної та овальної перфорації. Здійснено порівняння результатів для обґрунтованого компонування раціональних конструктивних форм перфорованих балок.

Методом конечных элементов исследовано напряженно – деформированное состояние и предельные нагрузки балок с шестиугольной, круглой, разновидностями эллиптической и овальной перфорацией. Проведено сравнение результатов для обоснований компоновки рациональных конструктивных форм перфорируемых балок.

The results of studies of the stress-strain state, stress concentration and limit loads of perforated beams with hexagonal, cellular, varieties oval and elips

holes were considered, using the method of finite elements. The rational structural forms of perforated beams are compared.

Ключові слова:

Балка, перфорація, напруження, деформація, стійкість.

Балка, перфорация, напряжение, деформация, устойчивость.

Beam, perforation, stress, deformation, stability.

Вступ. Як відомо, одним із шляхів підвищення ефективності і економічності металевих будівельних конструкцій є розроблення нових, більш раціональних конструктивних форм. До таких конструкцій належать перфоровані балки, які набувають все більшого розповсюдження. Виготовлення перфорованих конструкцій полягає у розрізанні одного прокатного двотавра по зигзагоподібній лінії (залежно від форми перфорації) з регулярним кроком за допомогою газового різання, їх розсунення і подальшого зварювання встик частин двотаврів по виступах стінки [1]. За кількістю рядів перфорація може бути однорядною та дворядною. Вдосконалення технології виготовлення перфорованих балок дозволяє в кінцевому випадку отримувати вирізи різноманітної форми.

Аналіз останніх досліджень. Огляд конструктивних рішень балок з вирізами вказує на велике різноманіття форм і розташування вирізів, що застосовуються в будівництві, наводяться їх переваги та недоліки [2 – 4]. У вказаних роботах розглядаються питання оцінки напружено – деформівного стану в перфорованих балках, що викликаний впливом вирізів, а також його впливу на несучу здатність балок та їх ефективне функціонування. Проте наведені у вказаних роботах результати важко співставити між собою через різні геометричні характеристики досліджуваних балок.

Постановка проблеми. Вибрати найбільш оптимальні варіанти перфорованих балок можливо лише після аналізу впливу різних елементів конструктивного оформлення на напружено – деформівний стан і стійкість балок. Сюди відносять: вид перфорації – одно – чи дворядну; форму вирізів – шестикутну, круглу, овальну, еліпсовидну та ін., взаємне розташування вирізів, а також їх відносну висоту. Кожна з форм вирізу має свої переваги та недоліки.

Метою даної роботи є дослідження та порівняння НДС балок як шестикутної, так і інших форм, що дозволить надійніше оцінювати їх міцність, стійкість, локальні напруження в області вирізів і відповідно знаходити раціональні форми конструкцій, які б забезпечували підвищення несучої здатності балок.

Методика досліджень. Аналітичний розрахунок двотаврової балки №60Б2 (рис. 1) прольотом 12м, з рівномірно розподіленим навантаженням $q=50\text{кН/м}$, проведений згідно літератури [5, 6]. При розрахунку методом скінчених елементів моделювання балок проводилось у програмному

комплексі SolidWorks2013 та імпортувалось в ANSYS Workbench 15.0. Сітка скінчених елементів виконана з тетраедрів, розміром 40 мм. Балки, які розглядаються в даній роботі виготовлені з низьколегованої сталі 09Г2С класу С345.

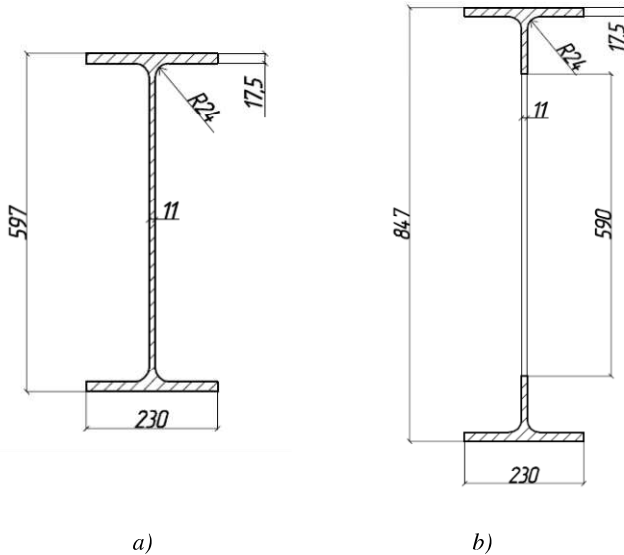
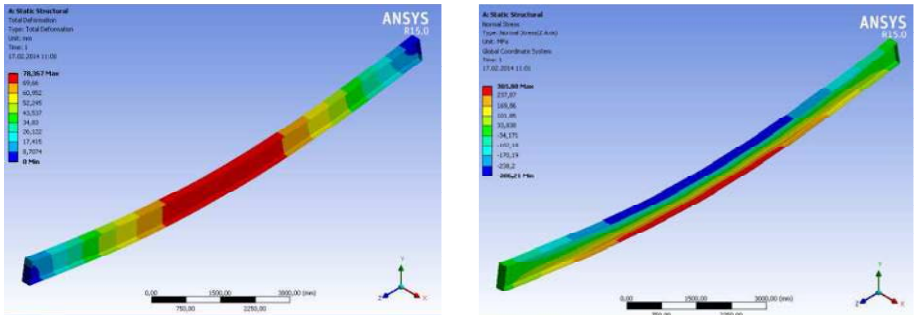


Рис.1. Перерізи балок: *a)* прокатної двотаврової балки №60Б2; *b)* перфорованої балки з висотою отвору 590 мм.

Результати досліджень. У програмному комплексі ANSYS MCE проведено розрахунок аналогічної балки, результати розрахунку загальних деформацій, нормальних напружень та оцінки критичного зусилля представлені на рисунках 2, *a* і *b*, 3.



a) загальні деформації *b)* нормальні напруження
Рис. 2. Загальні деформації (*a*) та нормальні напруження (*b*) у суцільній балці

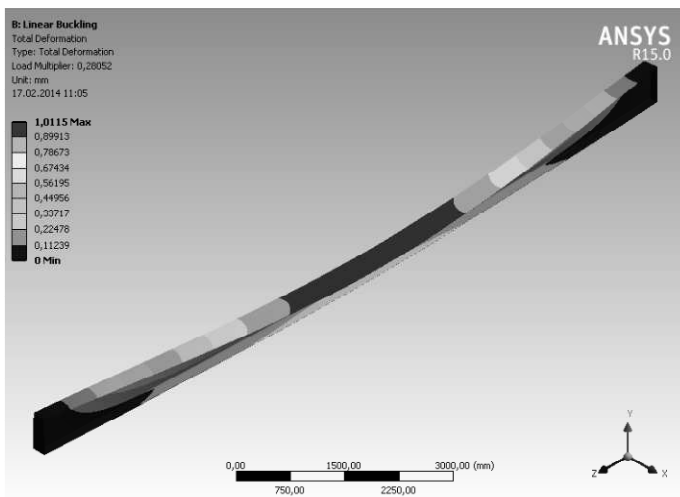


Рис. 3. Оцінка граничного навантаження в суцільній балці

У таблиці 1 наведені дані нормальних напружень, загальних деформацій та критичних зусиль для двох способів розв'язку. При порівнянні результатів нормальних напружень спостерігається відхилення в 0,2%, загальних деформацій - 3,2% та 3,9% для граничного навантаження.

Таблиця 1

Порівняння даних нормальних напружень, загальних деформацій та критичне зусилля при аналітичному розрахунку та обчисленнях МСЕ

Критерій порівняння	Аналітичний розрахунок за	МСЕ	Відхилення, %
Нормальні напруження	306,5 МПа	305,9 МПа	0,2
Загальні деформації	81 мм	78,4 мм	3,2
Критичне зусилля	13,5 кН/м	14,026 кН/м	3,9

Аналіз отриманих результатів показав, що спостерігається добра збіжність між аналітичним розрахунком та розрахунком МСЕ.

Оцінка НДС та стійкості балок з різними видами перфорації. Розглянуто балки з наступними видами перфорацій (рисунок 4):

1. Традиційна шестикутна перфорація (А).
2. Кругла перфорація, з діаметром отвору $D=590$ мм (Б).
3. Овальна (горизонтальна) перфорація (В).
4. Овальна (вертикальна) перфорація (Г).
5. Еліпсоподібна перфорація (Д).
6. Еліпсоподібна перфорація, (повернута на 45°) (Е).

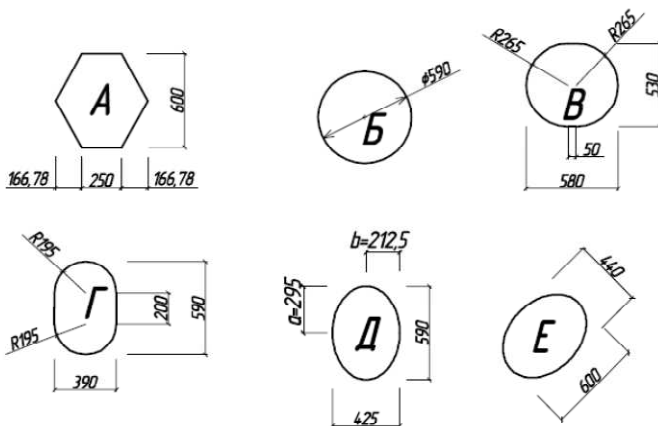


Рис.4. Геометричні характеристики отворів

У таблиці 2 представлено дані щодо висоти балки та отвору, відстані від початку балки до першого вирізу (c), відстані між отворами (S), кількості, ширини та площі отворів для кожного виду перфорації.

Таблиця 2

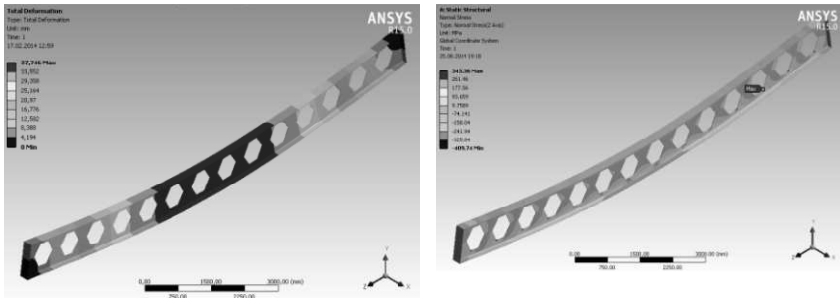
Геометричні характеристики перфорованих балок

№ з/п	Вид перфорації	Характеристики						
		Висота балки, мм	c , мм	S , мм	Кількість отворів	Висота отвору	Ширина отвору	Площа отворів, $см^2$
1.	Шестикутна	897	250	834	14	600	583,56	34419,4
2.	Кругла	847	270	830	14	590	590	38256,2
3.	Овальна (горизонтальна)	847	120	740	16	530	580	39521,6
4.	Овальна (вертикальна)	847	160	580	20	590	390	39480
5.	Еліпсоподібна	847	190	585	20	590	425	39367,8
6.	Еліпсоподібна (повернута на 45°)	847	113	621,8	19	526,1	501,8	39375,6
7.	Шестикутна	847	250	834	14	500	583,56	29190

Варто відзначити, що усі види перфорацій мають однакову площу вирізів за винятком шестикутних отворів, що пов'язано з технологією їх

виготовлення. Для шестикутної перфорації характерна одна лінія розрізання, на відміну від інших, де їх є дві. У зв'язку з цим спостерігається інша залежність між висотою отриманої балки (висотою вирізу) та площею її отворів. Тому для того, щоб усі розглянуті балки перебували практично в рівних умовах, за основу взято площу отворів.

Результати розрахунку МСЕ для перфорованої балки з шестикутними отворами, а саме загальні деформації, нормальні напруження та критичне зусилля показано на рисунках 5 (a, b) та 6.



a) загальні деформації

b) нормальні напруження

Рис. 5. Загальні деформації (a) та нормальні напруження (b) у перфорованій балці з шестикутними отворами

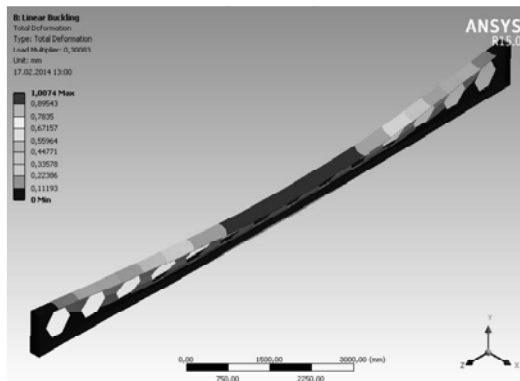


Рис.6. Оцінка граничного навантаження у перфорованій балці з шестикутними отворами

Варто звернути увагу на те, що σ_{\max} знаходиться не посередині балки і не в крайньому отворі. Це пояснюється складним напружено – деформівним станом перфорованих балок.

Результати досліджень (максимальних нормальних напружень, загальних деформацій та критичного зусилля) перфорованих балок зведено в таблицю 3.

Таблиця 3

Значення загальних деформацій, нормальних напружень, критичного зусилля для перфорованих балок

№ з/п	Вид перфорації	Висота балки, мм	Максимальні нормальні напруження, МПа		Загальні деформації, мм	Граничні навантаження, кН/м
			полиця	отвір		
1.	Шестикутна	897	198	345,4	37,8	15,0415
2.	Кругла	847	217	307	44,6	14,657
3.	Овальна (горизонтальна)	847	214,8	266	45,3	14,5885
4.	Овальна (вертикальна)	847	220,9	284,5	46,6	14,641
5.	Еліпсоподібна	847	218,4	293,6	45,8	14,6415
6.	Еліпсоподібна (повернута на 45°)	847	213	297,1	46,8	14,571
7.	Шестикутна	847	208,8	342	49,7	14,933

Аналіз даних таблиці 3 показав, що найменші максимальні нормальні напруження виникають в балках з овальною (горизонтальною) перфорацією. Для балок з шестикутною перфорацією характерні найменші значення загальних деформацій та найбільших граничних навантажень.

Висновок. 1. Здійснено моделювання та аналіз напружено – деформівного стану балок з різною перфорацією: шестикутною, круглою, овальною та еліпсоподібною.

2. Відзначено, що вплив виду перфорації на загальний напружено – деформівний стан балок та їх стійкість є несуттєвим (не перевищує 5,5%).

3. Встановлено, що вид перфорації суттєвим чином впливає на локальний напружено – деформівний стан в околі отворів. Найбільша концентрація напружень спостерігається у вершинах шестикутних отворів, що природньо. Порівнюючи круглу, еліпсоподібну та овальну перфорацію відзначимо зменшення максимальних нормальних напружень в околі еліпсоподібних та овальних отворів на 3...13,4% у порівнянні з іншими видами перфорації.

1. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов/ [В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.], под ред. В.В. Горева. - 3-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2004. - 551 с. 2. Konstantinos-Daniel Tsavdaridis, Cedric D'Mello, Vierendeel Bending Study of Perforated Steel Beams with Various Novel Web Opening Shapes, through Non-linear Finite Element Analyses, 2011 - 32 с. 3. Vimalkumar A. Patel, Vipul R. Patel, Vasant S. Patel, Bhavesh C. Pathak, Effect of Different Web Openings in Narrow Flange I Section Beam. - International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2013. - С. 186-191. 4. Притыкин А.И. Влияние сдвига на деформации перфорированных балок с шестиугольными вырезами [Текст] / А.И. Притыкин, // Известия вузов. Строительство.. – 2012. – № 3. –С.111-118. 5. Блейх Ф. Устойчивость металлических конструкций. / Ф. Блейх. – гос. изд. физ. – мат. лит. 1959. – 544 с. 6. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів / [Нілов О.О., Пермьяков В.О., Шимановський О.В., Білик С.І., Лавріненко Л.І., Белов І.Д., Володимирський В.О.] 2010. – 869 с.