

УДК 693.8

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПЕРФОРОВАНОГО ДВОТАВРОВОГО ПРОГОНУ В ПК «ЛІРА»

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРФОРИРОВАННОГО ДВУТАВРОВОГО ПРОГОНА В ПК «ЛИРА»

PERFORATED SUMMER STRESS DEFORMATIVE STATE RESEARCH USING “LIRA”

Романюк В.В., к.т.н., доц., Супрунюк В.В., к.т.н., доц., Василенко В.Б., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Романюк В.В., к.т.н., доц., Супрунюк В.В., к.т.н., доц., Василенко В.Б., аспірант (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Romaniuk V.V., candidate of technical sciences, associate professor, Supruniuk V.V., candidate of technical sciences, associate professor, Vasylenko V.B., postgraduate (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

Наведено результати теоретичних досліджень перфорованого двотаврового прогону в умовах косоного згину в програмному комплексі «Ліра»

Приведены результаты теоретических исследований перфорированного двутаврового прогона в условиях косоного изгиба в программном комплексе «Лира»

The results of perforated summer under slanting bend conditions theoretical research in “Lira” have been shown

Ключові слова:

Прогон, напруження, згин

Прогон, напряжения, изгиб

Summer, stress, bend

Виходячи з поставленої мети та задач досліджень, а також розробленої методики експериментальних досліджень було законструйовано

перфорований прогон прольотом 6 м з вихідного прокатного двотавра 23Б1/ГОСТ 26020–83, коефіцієнт збільшення висоти якого склав 1,2.

Розрахунки перфорованого двотаврового прогону в умовах косоного згину проводилися за методом скінчених елементів в програмному комплексі «Ліра», що дозволило отримати високу точність результатів і прослідкувати картину поширення нормальних напружень в перерізах прогону. До конструкції прикладене зовнішнє навантаження у вигляді зосереджених сил, що дає змогу отримати по довжині елемента як зону чистого, так і зону поперечного згинів. Оскільки поперечна сила зменшується від краю до середини прольоту, а згинаючий момент навпаки збільшується, то для визначення нормальних напружень в перерізі прогону його було поділено на 3 характерні ділянки, в кожній з яких нормальні напруження визначались у 2-х перерізах: в перерізі з отвором (точки 1...4) і в перерізі без отвору (точки 5,6) (рис. 1). Перфоровані прогони розраховувалися для кутів нахилу від 0° до 25° з кроком у 5° .

Розрахункове зосереджене навантаження на перфорований прогон визначено від відомого перерізу і кута нахилу конструкції. Залежності величин розрахункового навантаження за граничними станами першої і другої груп від кута нахилу конструкції наведені у табл. 1.

Залежність величини навантаження на перфорований прогон від кута нахилу конструкції

Таблиця 1

Кут нахилу α , град	0	5	10	15	20	25
Навантаження за граничними станами I групи F_m , кН	14,5	8,9	6,5	5,1	4,2	3,7
Навантаження за граничними станами II групи F_e , кН	9,6	5,6	3,3	2,3	1,7	1,4

Напруження у перфорованому прогоні визначалися на трьох ділянках в семи характерних перерізах (рис. 1):

1) ділянка 1:

а) переріз 1.1 на відстані 150 мм від опори, де виникає максимальне значення поперечної сили, а значення згинаючого моменту дорівнює нулю;

б) переріз 1.2 у суцільній частині стінки прогону, де поперечна сила має максимальне значення і починає зростати значення згинаючого моменту;

в) переріз 1.3 у кутах отвору прогону, де поперечна сила має максимальне значення і починає зростати значення згинаючого моменту;

2) ділянка 2:

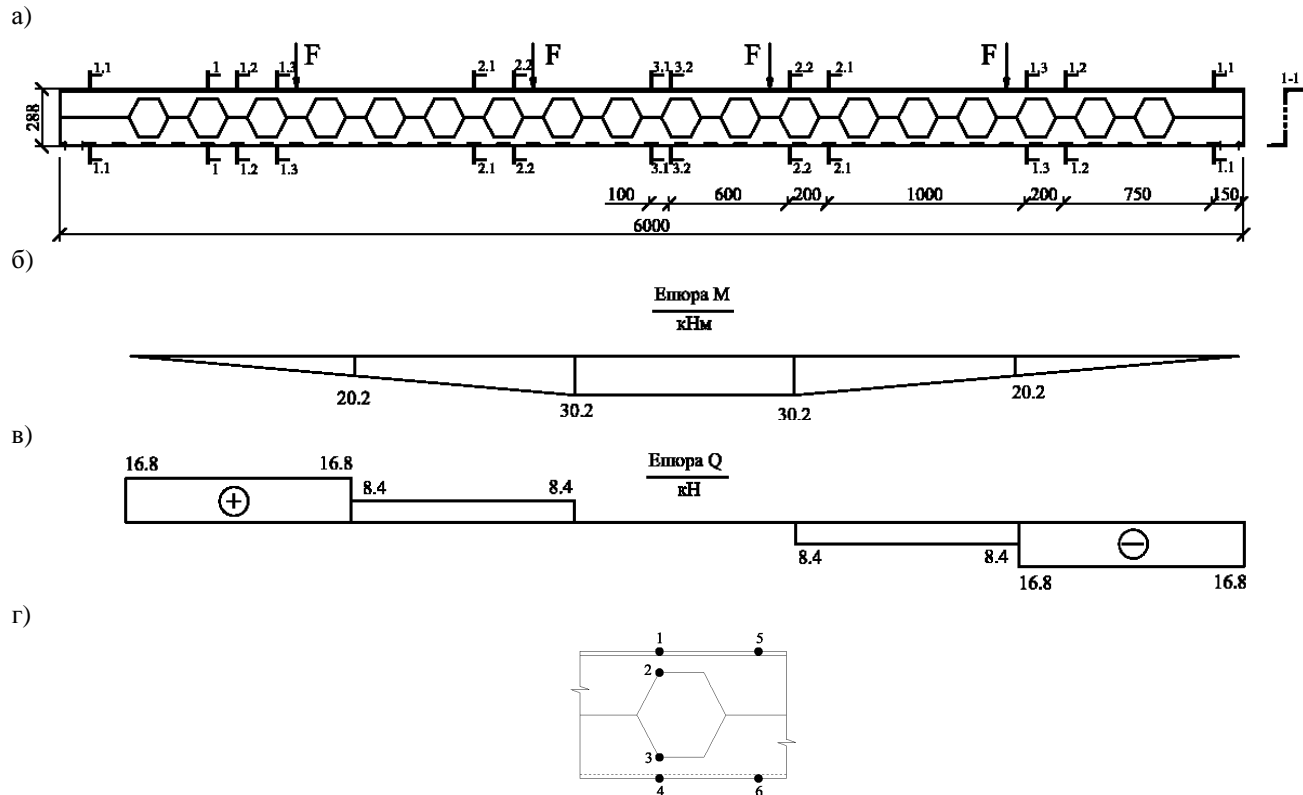


Рис. 1. Розрахункова схема прогону

а – конструкція прогону; б – епора згинальних моментів M ; в – епора поперечних сил Q ; г – характерні точки перерізу

а) переріз 2.1 у стінці прогону, де значення поперечної сили дещо зменшується, а значення згинаючого моменту наближається до максимальної величини;

б) переріз 2.2 у кутах отвору прогону, де значення поперечної сили дещо зменшується, а значення згинаючого моменту наближається до максимальної величини;

3) ділянка 3:

а) переріз 3.1 у кутах отвору прогону, де значення поперечної сили дорівнює нулю, а значення згинаючого моменту максимальне;

б) переріз 3.2 у стінці прогону, де значення поперечної сили дорівнює нулю, а значення згинаючого моменту максимальне.

Щоб забезпечити правильність розрахунку конструкції в програмному середовищі, напруження в перерізі перфорованого прогону, які були отримані в ПК Ліра, порівнювались з розрахунком за методикою норм проектування при куті нахилу конструкції 0° (табл. 2). Всі напруження визначались у перерізах поясів і стінок, а також у кутах отворів, які розміщені найближче до прикладеного навантаження, оскільки у цих місцях має місце концентрація напружень.

Нормальні напруження по осі Z в перерізі перфорованого прогону

Таблиця 2

Ділянка	Точка	Напруження		%
		Ліра	СНиП	
1	5 (опора)	8,8	8,4	4,5
	6 (опора)	12,7	8,4	34
	1	76,3	60,9	20
	2	35,2	27,6	21
	3	35,6	27,6	21
	4	76,5	60,9	20
	5	68,7	54,2	21
2	6	68,8	54,2	21
	1	129,5	103,6	20
	2	59,7	42,3	29
	3	58,7	42,3	28
	4	129,9	103,6	20
	5	125,9	99,6	21
3	6	125,9	99,6	21
	1	137,3	109,7	20
	2	64,5	51,6	20
	3	64,5	51,6	20
	4	137,3	109,7	20
	5	137,3	108,5	21
	6	137,2	108,5	21

Як видно з табл. 2, розбіжність між значеннями нормальних напружень в перерізах перфорованого двотавра, які отримані за формулами норм проектування і в програмному комплексі „Ліра” не перевищують 20...21%. Єдиний переріз, який має розбіжність 34% це приопорний переріз 1.1 ділянки 1, де має місце велике значення поперечної сили Q і мале значення згинаючого моменту M . Таким чином, подальший розрахунок перфорованих профілів проводився тільки в ПК „Ліра”.

Графік зміни навантаження відносно кута нахилу конструкції за граничними станами I групи має чітко виражену гіперболічну залежність – значення параметрів кривої плавно зменшуються (рис. 2). Якщо представити це зменшення у числовому виразі, то найбільший спад відбувається при зміні кута нахилу від 0° до 5° і він становить 39 %. У разі подальшого збільшення кута нахилу конструкції різниця в навантаженнях не має великих стрибків і плавно зменшується від 27 до 12 %. Ця різниця в значеннях між кутами нахилу 0° і 5° відображає особливості роботи перфорованих прогонів за косоного згину порівняно з роботою за чистого згину, які полягають у виникненні додаткових переміщень із площини конструкції, що зменшує загальну стійкість елемента. При наступних збільшеннях кута нахилу такі явища не спостерігаються, оскільки робота весь час відбувається за косоного згину.

Графік зміни розрахункового навантаження відносно кута нахилу конструкції за граничними станами II групи паралельний графіку розрахунку за I групою і також описується гіперболічною залежністю. Найбільші різниці в навантаженні зафіксовані при змінах кутів нахилу від 0° до 5° і від 5° до 10° і вони становлять відповідно 42 і 41%. В інших випадках різниця в навантаженнях коливається в межах 30 – 18%.

Якщо порівняти величини навантажень, отриманих за граничними станами I і II груп, то різниця їх значень поступово збільшується від 34% до 62% при збільшенні кута нахилу конструкції від 0° до 25° .

Графіки прогинів конструкцій подібні до графіків зміни навантаження за граничними станами I і II груп і графік прогину суцільного прогону паралельний графіку прогину перфорованого елемента (рис. 3). Найменша різниця у величинах прогинів спостерігається при зміні кута нахилу від 20° до 25° і становить 9%. При зміні кута нахилу конструкції від 0° до 20° різниця значень прогинів зменшується від 41 до 19%. Це так само зумовлено збільшенням прогинів у поздовжньому і поперечному напрямках з одночасним зменшенням навантажень, що прикладаються до прогону.

Для перфорованого елемента характер прогинів такий самий – найменша різниця при переході від 20° до 25° і вона становить 5%, а в подальшому при збільшенні кута від 0° до 20° прогин зменшується з 40 до 16%.

Стосовно порівняння прогинів перфорованого і суцільного елементів при однакових навантаженнях і кутах нахилу конструкції можна зауважити, що

прогин перфорованого елемента в середньому на 28% менший за прогин суцільного, оскільки жорсткість останнього менша на 37%.

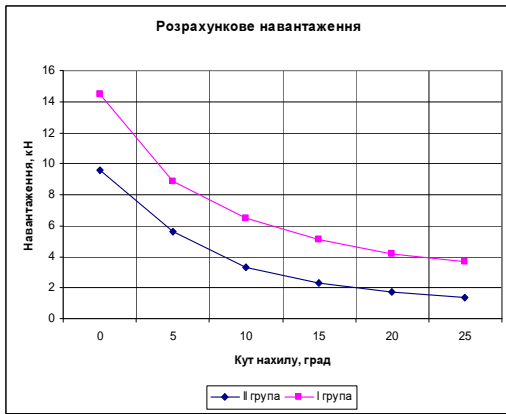


Рис. 2. Залежність зовнішнього навантаження від кута нахилу конструкції

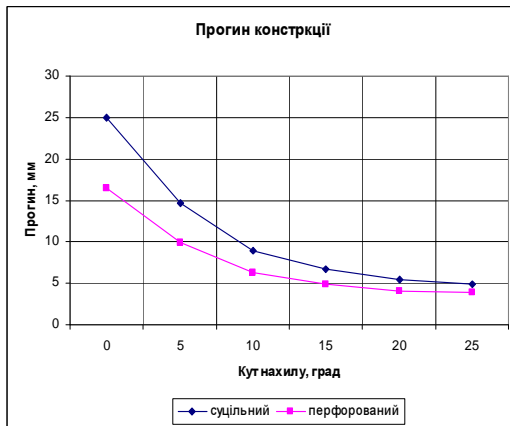


Рис. 3. Залежність прогинів суцільного і перфорованого профілів від кута нахилу конструкції

Також проводилися порівняння напружень в характерних точках перерізу суцільного і перфорованого прогонів на ділянках 1, 2 і 3 (див. рис. 1) на яких поперечна сила зменшується від країв до середини прольоту конструкції, а згинаючий момент навпаки збільшується.

Графіки напружень на ділянці 1 для суцільного і перфорованого елементів є паралельними, що свідчить про однакову роботу суцільних і перфорованих

конструкцій. Напруження в перфорованому прогоні значно менші від напружень в суцільному за виключенням точок 2 і 3. Це пояснюється тим, що у цих точках має місце концентрація напружень, оскільки вони розміщені у кутах отворів перфорованого елемента і для них у подальшому порівняння не виконувались. Щодо інших характерних точок, то мають місце такі значення:

1. В точці 1 напруження в обох елементах зменшуються зі збільшенням кута нахилу конструкції. Різниця значень для перфорованого і суцільного прогонів коливається в межах від 24 до 31%.

2. Точка 4 – різниця 21... 25%.

3. В точці 5 різниця напружень становить 20...21%.

4. В точці 6 різниця напружень становить 19...20%.

Отже, якщо порівняти напруження в точках 1, 4, 5 і 6, які виникають в перфорованому прогоні, то вони в середньому на 22 – 26% менші, ніж у суцільному при однаковій витраті металу. Точки 2 і 3 не беруться до уваги через концентрацію в них напружень.

Графіки нормальних напружень для ділянки 2 мають такий самий характер, що і для ділянки 1. Відсоткові відношення приймають такі значення:

1. Точка 1 – 22%.

2. Точка 4 – 21%.

3. Точка 5 – 22%.

4. Точка 6 – 20%.

Отже, для ділянки 2, де має місце поперечний згин з великими значеннями поперечної сили і згинаючого моменту, напруження перфорованого прогону на 20 – 22% менші ніж в суцільному.

На ділянці 3, де виникає чистий згин, різниці напружень у характерних точках становлять:

1. Точки 1 і 4 – 19...20%.

2. Точка 2 – 32%.

3. Точка 3 – 35%.

4. Точки 5 і 6 – 20...21%.

Отже, напруження в перфорованому прогоні на ділянці 3 в середньому на 20...34% менші від напружень у суцільному.

Порівняння напружень в характерних точках перерізів для усіх ділянок балки, наприклад, залежність напружень в точці 1 від кута нахилу конструкції на трьох ділянках, дає можливість проаналізувати напружено деформований стан прогону в цілому.

Найбільші напруження в точках для обох видів прогонів спостерігаються на ділянці 3, що зумовлено наявністю максимального згинаючого моменту в прольоті конструкції. Лише для перфорованого прогону ділянка 3 є менш напруженою, оскільки там має місце чистий згин і відсутня концентрація напружень в кутах отворів. У числовому вигляді різниця напружень має такі значення:

1. Точка 1 – напруження на ділянці 3 на 6% більші від напружень на ділянці 2 і на 44% більші за напруження на ділянці 1.
2. Точка 4 – напруження на ділянці 3 на 7% більші від напружень на ділянці 2 і на 47% більші за напруження на ділянці 1.
3. Точка 2 – напруження на ділянці 3 на 5% більші від напружень на ділянці 2 і на 45% більші за напруження на ділянці 1.
4. Точка 3 – напруження на ділянці 3 на 7% більші від напружень на ділянці 2 і на 46% більші за напруження на ділянці 1.
5. Точка 5 – напруження на ділянці 3 на 8% більші від напружень на ділянці 2 і на 50% більші за напруження на ділянці 1.
6. Точка 6 – напруження на ділянці 3 на 9% більші від напружень на ділянці 2 і на 51% більші за напруження на ділянці 1.

З вищенаведених результатів можна зробити висновок, що напруження на ділянці 3 в суцільному прогоні в середньому на 6...8% більші за напруження на ділянці 2 і на 46...48% більші, ніж на ділянці 1.

Проаналізувавши напруження для перфорованого прогону отримано такі значення різниць напружень в характерних точках перерізу:

1. Точки 1 і 4 – напруження на ділянці 3 на 7% більші від напружень на ділянці 2 і на 48...49% більші за напруження на ділянці 1.
2. Точки 2 і 3 – напруження на ділянці 1 на 3...4% більші від напружень на ділянці 2 і на 28... 32% більші за напруження на ділянці 3.
3. Точка 5 – напруження на ділянці 3 на 8...9% більші від напружень на ділянці 2 і на 50...51% більші за напруження на ділянці 1.

Напруження на ділянці 3 в перфорованому прогоні на 5...7% більші, ніж на ділянці 2 і на 42...44% більші, ніж на ділянці 1.

У результаті порівняння розрахунків перфорованого і суцільного прогонів отримано майже однакові значення різниць нормальних напружень, що свідчить про достовірність розрахунку перфорованого прогону методом скінчених елементів в умовах косоного згину.

1. М.С. Барабаш, М.В. Лазнюк, М.Л. Мартынова, Н.И. Пресняков. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций / Курсовое и дипломное проектирование. Исследовательские задачи: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений // Под. ред. проф. Нилова А.А. – М.: Издательство АВС, 2008. – 328 с. 2. Павленко І.В. Метод скінчених елементів в задачах опору матеріалів і лінійної теорії пружності: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006.–147с. 3. Романюк В.В., Супрунюк В.В. Перевірка міцності перфорованих згинальних та стиснуто-згинальних сталевих елементів за деформованою та недеформованою схемами. Вісник НУВГП, вип.3 (27), Рівне. 2004. с. 186–191. 4. Романюк В.В., Супрунюк В.В. Міцність та деформативність перфорованих елементів сталевих арки: Монографія. – Рівне: НУВГП, 2013. – 106 с. 5. Горюшков А.С., Евзеров И.Д., Стрелец-Стрелецкий Е.Б. и др. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс ЛИРА – Windows.//К.: Факт, 1997. – С. 137.