

УДК 624.014

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ КРОКВЯНИХ ФЕРМ З КРИВОЛІНІЙНИМИ ПОЯСАМИ

CHOOSING A RATIONAL SCHEME OF ROOF TRUSSES WITH CURVILINEAR BELTS

Романюк В.В., к.т.н., доцент; Супрунюк В.В., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна)

Romaniuk V.V., candidate of engineering sciences, associate professor; Supruniuk V.V., candidate of engineering sciences, associate professor, (National University of Water Management and Nature Resources Application, Rivne, Ukraine)

Нведено результати статичного розрахунку сталюї кроквяної ферми арочного типу з криволінійними поясами. Визначено раціональні габаритні параметри сталюїх кроквяних ферм залежно від величини і схеми прикладання навантаження та прольоту, а саме висоту посередині прольоту та радіуси заокруглення поясів; вивчено вплив жорсткості вузлів і елементів решітки на загальний напружено-деформований стан ферми; виконано розрахунок сталюї ферми арочного типу з криволінійними перфорованими поясами прольотом 30 м.

The results of a static calculation of an arched-type steel truss with curvilinear belts are given.

The rational overall parameters of steel trusses are determined depending on the size and scheme of application of loading and span, namely height in the middle of span and radii of rounding of belts; influence of rigidity of nodes and elements of the lattice on the general stress-strain state of the farm was studied; the arched-type steel farm was calculated with curved perforated belts spanning 30 m.

With the help of PC "Lyra" it is established that the most disadvantageous loading of this farm is the node application of load on the whole span. The required number of supports is determined and the rational distance between them is selected. It is found that a farm of this type works best on four supports, two of which are located at the edges and the other two at a distance of 5.45 m from the extreme supports inside the span. It is noted that such a farm works almost equally in the case of rigid and hinged joints of lattice elements with belts and with different rigidities of lattice elements.

Preliminary calculations showed that rational, in terms of steel costs, the height of the farm of this type in the middle of the span is 1.55 m. Farms with higher heights are irrational, since significantly increases the length of the belts and lattice elements, which leads to a decrease in their stability and increase the weight of the farm itself, and the forces in the belts and lattice elements with increasing the height of the farm are reduced by a small amount.

The study of the operation of such farms in the middle of the span of 1.05 m, 1.55 m and 2.05 m in the case of loading through a node with a load greater than 2 times, resulting in the fact that the forces in the belts and elements of the lattice is practically no are different compared to the boot case at each node.

The analysis of the work of farms of this type and with a smaller number of elements of the lattice, that is, the rod lattices were attached to the belts through the node compared to the previous case and the load was also 2 times greater.

The work of farms with fewer lattice elements was investigated when applying a single load to nodes and between nodes at the same time. The values of the efforts compared to the previous case were compared and stated that they are practically the same.

Ключові слова: схема, ферма, арка, пояс, решітка, зусилля, прогин, деформативність.
scheme, farm, arch, belt, lattice, effort, deflection, deformability.

Вступ. Аналіз існуючих конструктивних рішень плоских конструкцій покриття, а також наявних теоретичних досліджень свідчить про необхідність пошуку нових шляхів створення масових економічних конструкцій. Поєднання різних видів конструкцій, таких як суцільні балки, кроквяні ферми, рамні та арочні конструкції, кожна з яких має свої переваги та недоліки залежно від умов роботи та геометричних параметрів, дозволяє створити більш економічну конструктивну форму порівняно з існуючими. Використання арочних ферм є більш ефективним для будівель та споруд середніх прольотів, хоча у разі застосування легких огорожувальних конструкцій покриття арочні ферми можна також використовувати і у великих прольотах.

Одним зі шляхів, що дозволяє значно знизити металомісткість конструкції в цілому, є застосування як у верхньому поясі, який, як правило, безпосередньо сприймає зовнішнє навантаження, так і в нижньому поясі елементів із розвинених (перфорованих) профілів, конструктивні рішення яких дуже різноманітні.

Аналіз останніх досліджень. На даний час розроблено дуже багато конструктивних форм кроквяних ферм різних типів як за обрисами поясів і схемами решіток, так і за профілями, які використовуються. Вони широко

представлені в науковій, навчальній та довідниковій літературі. Формоутворення таких несучих конструкцій завжди тісно пов'язане з заданими умовами експлуатації і необхідною несучою здатністю. Забезпечення цих вимог призводить до того, що зміна будь-якого з факторів, що визначають конструктивне рішення, знаходиться у тісному взаємозв'язку з іншими аспектами, у тому числі із загальним рівнем розвитку технологій виготовлення конструкцій та зведення об'єктів з їх використанням.

Постановка мети і задач досліджень. В роботі ставиться за мету провести теоретичні дослідження характеру роботи сталених кроквяних ферм арочного типу з криволінійними поясами з перфорованих двотаврових елементів постійної жорсткості.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі завдання:

1) визначити раціональні габаритні параметри сталених кроквяних ферм залежно від величини і схеми прикладання навантаження та прольоту, а саме висоту посередині прольоту та радіуси заокруглення поясів;

2) вивчити вплив жорсткості вузлів і елементів решітки на загальний напружено-деформований стан ферми;

3) виконати розрахунок сталеної ферми арочного типу з криволінійними перфорованими поясами прольотом 30 м.

Об'єкт дослідження – сталена ферма арочного типу з двома криволінійними поясами прольотом 30 м.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан ферми за різних схем завантаження та за різних її конструктивних особливостей.

Основні результати роботи. Запропоновано раціональну конструктивну форму сталеної ферми арочного типу з двома криволінійними поясами прольотом 30 м, що має понижено металомісткість; в результаті статичного розрахунку у програмному комплексі «Ліра» отримано теоретичні дані про напружено-деформований стан ферми; виконано конструктивний розрахунок сталеної ферми арочного типу з криволінійними перфорованими поясами прольотом 30 м.

Методика досліджень. Аналіз літературних джерел, теоретичних та експериментальних досліджень плоских несучих конструкцій покриття, у тому числі із застосуванням перфорованих елементів; теоретичні дослідження з використанням програмного комплексу «Ліра».

Результати досліджень. Для реалізації зазначених мети та завдань як об'єкт дослідження було обрано сталену серпоподібну ферму арочного типу загальною довжиною 33946 мм з двома криволінійними поясами з початковою висотою між осями поясів посередині прольоту 1,05 м (рис. 1).

За допомогою ПК «Ліра» встановлено, що найневигоднішим завантаженням даної ферми є вузлове прикладання навантаження на всьому прольоті. У подальшому дослідження були спрямовані на визначення необхідної кількості опор та вибір раціональної відстані між ними. Було встановлено, що ферма даного типу найкраще працює на чотирьох опорах, дві з яких розміщені на

відстані 1523 мм від краю ферми з двох боків, а дві інші на відстані 5450 мм від крайніх опор всередину прольоту. Також було встановлено, що така ферма практично однаково працює у разі жорсткого та шарнірного з'єднання елементів решітки з поясами та за різних жорсткостей елементів решітки.

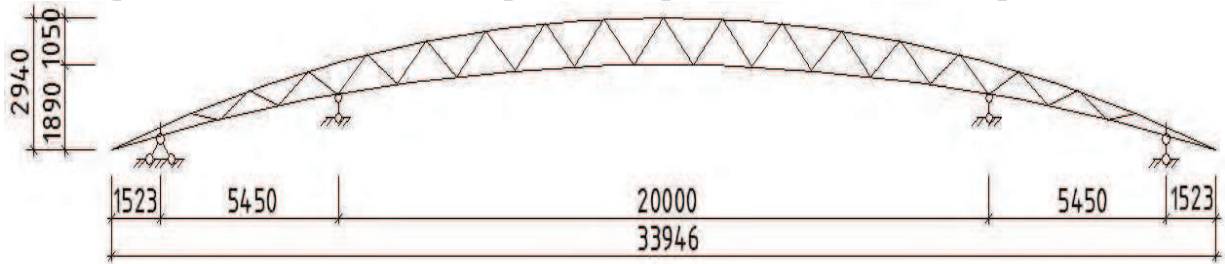


Рис. 1. Схема серпоподібної ферми арочного типу прольотом 30 м з криволінійними поясами

Попередньо виконані розрахунки засвідчили, що раціональна, з точки зору витрат сталі, висота ферми такого типу в посередині прольоту становить 1,55 м. Ферми з більшими висотами нераціональні, оскільки значно збільшуються довжини поясів та елементів решітки, що призводить до зниження їх стійкості та збільшення маси самої ферми, а зусилля в поясах та елементах решітки зі збільшенням висоти ферми зменшуються на незначну величину.

Також були проведені дослідження роботи даної ферми висотою в гребеневому вузлі 1,05 м, 1,55 м та 2,05 м у випадку їх завантаження через вузол з величиною навантаження більшою у 2 рази (1-й випадок). У результаті встановлено, що зусилля в поясах та в елементах решітки практично не відрізняються порівняно із випадком завантаження в кожному вузлі.

Досліджувались ферми такого типу і з меншою кількістю елементів решітки, тобто стержні решітки примикали до поясів через вузол порівняно з попереднім випадком і величина навантаження також була більша у 2 рази (2-й випадок).

Проаналізувавши ці два випадки, можна зазначити, що в першому зусилля, які виникають в поясах, більші ніж у другому, а зусилля в елементах решітки менші.

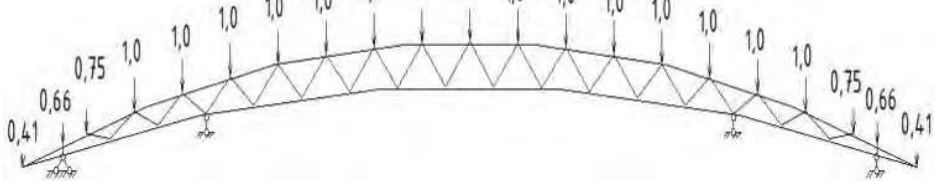
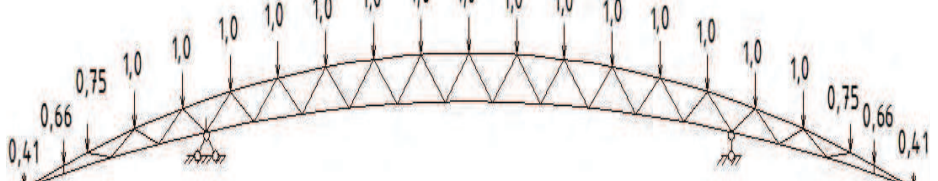
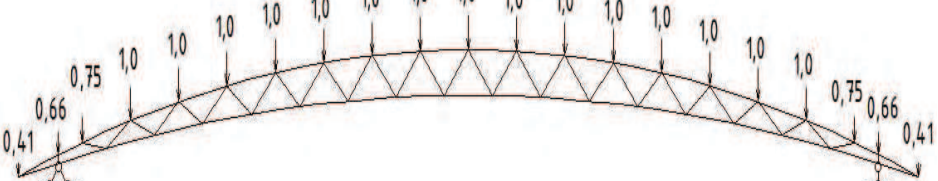
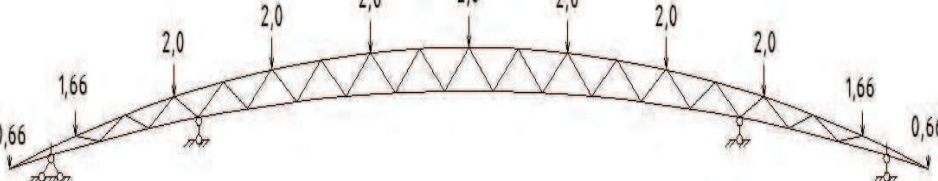
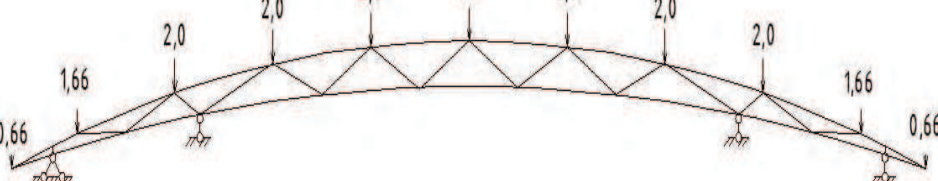
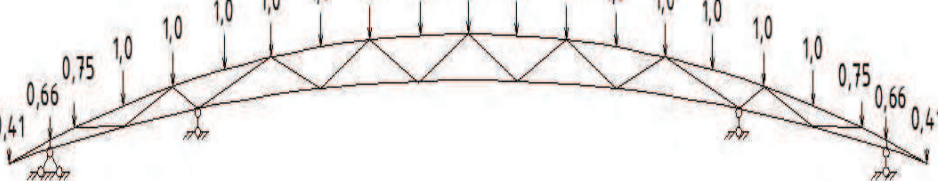
Було також досліджено роботу ферми з меншою кількістю елементів решітки у разі прикладення одиничного навантаження до вузлів та між вузлами одночасно. Порівнявши отримані значення зусиль з попереднім випадком (випадок 2) можна сказати, що вони практично однакові.

У випадках значних навантажень для зменшення прогину ферми посередині прольоту конструкції такого типу можна попередньо напружувати шляхом прикладання певних зусиль до вузлів обпирання ферми на середні колони.

Схеми ферм з варіантами навантажень та розміщенням опор наведено в табл. 1. Геометричні розміри ферм, максимальні зусилля в елементах та прогини наведено в табл. 2. Деформаційні схеми ферм відповідно до навантажень наведено в табл. 3.

Таблиця 1

Схеми ферм з варіантами навантажень та розміщенням опор

№№ з/п	Висота посередині прольоту	Розрахункова схема ферми
1.	1050; 1550; 2050	
2.	1050	
3.	1050	
4.	1050; 1550; 2050	
5.	1050; 1550; 2050	
6.	1050; 1550; 2050	

Таблиця 2

Геометричні розміри ферм, максимальні зусилля в елементах та прогини

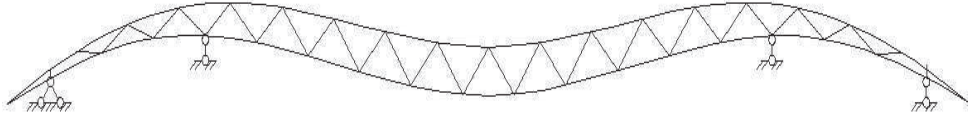
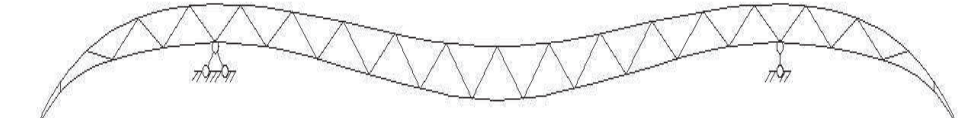
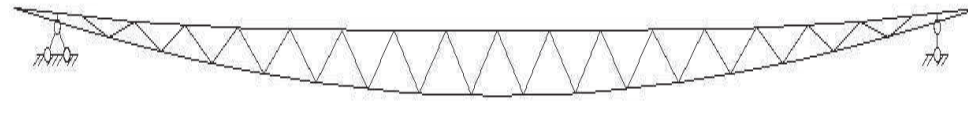
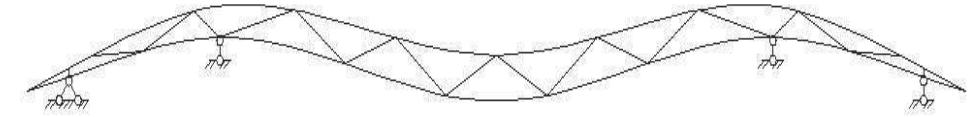
№№ з/п	Висота посередині прольоту	Радіуси заокруглення верхнього поясу, мм	Максимальні зусилля в елементах N , кН			Прогин посередині прольоту f , мм
			верхній пояс	нижній пояс	решітка	
1.	1050	50450	27,1; -26,2	26,4; -21,1	11,3; -18,0	ж.з. 5,45; ш.к. 5,52
2.	1050	50450	31,4; -26,2	26,4; -24,9	12,0; -19,4	ж.з. 4,99; ш.к. 4,99
3.	1050	50450	-112,3	111,2	25,5; -21,4	ж.з. 70,17; ш.к. 70,80
4.	1550	43600	19,8; -19,7	19,9; -15,8	10,4; -16,0	3,32
5.	2050	38550	14,5; -15,6	15,8; -11,2	9,5; -14,7	2,27
6.	1050	50450	27,1; -26,3	26,9; -20,5	11,9; -17,3	6,25
7.	1550	43600	19,8; -19,8	20,2; -15,4	10,9; -15,3	3,33
8.	2050	38550	14,6; -15,6	15,9; -11,0	10,1; -14,2	2,26
9.	1050	50450	22,8 -26,4	27,0; -16,0	10,8; -30,7	7,84
10.	1550	43600	15,9; -18,5	19,1; -11,3	8,2; -23,1	3,96
11.	2050	38550	12,1; -14,5	15,1; -8,6	7,1; -19,2	2,50
12.	1050	50450	22,6; -26,6	27,2; -15,6	10,9; -30,6	7,81
13.	1550	43600	15,6; -18,8	19,4; -10,8	8,2; -23,0	3,94
14.	2050	38550	11,7; -14,8	15,4; -8,1	7,1; -19,1	2,50

Примітка. Радіус заокруглення нижнього поясу у всіх випадках 77150 мм.

Виконано конструктивний розрахунок кроквяної ферми прольотом 30 м і висотою посередині прольоту 1,5 м з криволінійними поясами з перфорованих двотаврових балок за ГОСТ 8239–89 та решіткою з гнутих замкнених зварних прямокутних профілів за ДСТУ Б.В.2.6–8–95 з використанням методик розрахунку та довідникових даних, наведених в [1; 2; 3] з дотриманням чинних норм проектування [4].

Отримані в результаті розрахунку реальної конструкції дані свідчать про можливість застосування таких ферм як несучих конструкцій покриття в будівлях з легкими покрівлями з використанням профільованих листів.

Деформаційні схеми ферм відповідно до навантажень

№№ з/п	Висота посередині прольоту	Схема деформування ферми
1.	1050; 1550; 2050	3
1.	1050; 1550; 2050	
2.	1050	
3.	1050	
4.	1050; 1550; 2050	

Висновки Статичний розрахунок таких ферм показав, що зі збільшенням висоти посередині прольоту з 1050 мм до 1550 мм і прольоті між внутрішніми колонами 20 м максимальні поздовжні зусилля в поясах зменшуються на 26%, максимальні зусилля в елементах решітки – на 11%, а зі збільшенням висоти до 2050 мм зниження зусиль в елементах становить відповідно 40% і 18%. Оскільки пояси запроектовані криволінійними, то в них на ділянках між вузлами і в самих вузлах виникають незначні за величиною згинаючі моменти, які зі збільшенням висоти ферми ще суттєво зменшуються у верхньому поясі (відповідно на 75 і 90%) і дещо зростають у нижньому (відповідно на 8 і 47%). Враховуючи значне збільшення витрат сталі на елементи решітки у другому випадку, найбільш доцільним видається значення висоти 1550 мм, що становить 8% від величини прольоту. Вочевидь, у загальному випадку можна стверджувати, що залежно від конкретних умов значення висоти ферми посередині прольоту в межах близько 5...10% від його величини є найбільш раціональним і з точки зору забезпечення витрат сталі.

Завантаження таких ферм одиничним навантаженням в кожному вузлі та через вузол суттєвих змін у величинах зусиль в поясах та елементах решітки не викликало.

У випадку завантаження ферм через вузол (по 2 кН) та у випадку завантаження ферм з розрідженою решіткою в кожному вузлі (по 2 кН) можна відмітити незначні відмінності у величинах зусиль: зусилля в поясах більші, а в елементах решітки менші у разі завантаження ферми в кожному вузлі порівняно із завантаженням ферми з розрідженою решіткою по 2 кН.

У випадку завантаження ферм з розрідженою решіткою в кожному вузлі (по 2 кН) та у випадку завантаження таких самих ферм одиничним навантаженням у вузлах та між вузлами також суттєвих відмінностей у величинах зусиль як у поясах, так і в елементах решітки не помічено.

Пояси ферми можуть бути запроектовані з перфорованих двотаврів постійної або змінної по довжині жорсткості, що забезпечить їх найменшу матеріаломісткість, а елементи решітки прийняті з замкнутих гнutoзварних профілів, що дозволить виконати вузли безфасонковими з безпосереднім приварюванням елементів решітки до полиць поясів. Виконаний приклад розрахунку це повністю підтверджує.

1. Романюк В. В. Міцність та деформативність перфорованих елементів сталевोї арки [Текст]: монографія / В. В. Романюк, В. В. Супрунюк. – Рівне: НУВГП, 2013. – 106 с.

Romaniuk V. V. Mitsnist' ta deformatyvnist' perforovanykh elementiv stalevoyi arky [Tekst]: monohrafiya / V. V. Romaniuk, V. V. Supruniuk. – Rivne: NUVHP, 2013. – 106 s.

2. Романюк В. В. Несуча здатність перфорованих прогонів Z-подібного профілю за косоного згину [Текст]: монографія / В. В. Романюк, В. Б. Василенко, В. В. Супрунюк. – Рівне: НУВГП, 2017. – 206 с.

Romaniuk V. V. Nesucha zdatnist' perforovanykh prohoniv Z-podibnoho profilyu za kosoho z'hynu [Tekst]: monohrafiya / V. V. Romaniuk, V. B. Vasylenko, V. V. Supruniuk. – Rivne: NUVHP, 2017. – 206 s.

3. Романюк В. В. Особливості розрахунку прольотних конструкцій з перфорованих елементів за складного напружено-деформованого стану [Текст] / В. В. Романюк, В. В. Супрунюк // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – Випуск 175. – С. 98 – 108.

Romaniuk V. V. Osoblyvosti rozrakhunku prol'otnykh konstruktsiy z perforovanykh elementiv za skladnoho napruzhenno-deformovanoho stanu [Tekst] / V. V. Romaniuk, V. V. Supruniuk // Zbirnyk naukovykh prats' Ukrayins'koho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu. – Kharkiv: UkrDUZT, 2018. – Vypusk 175. – S. 98 – 108.

4. Сталеві конструкції [Текст]: ДБН В.2.6 – 198: 2014. – [офіц. вид.]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2014. – 199 с. – (Нормативний документ Мінрегіонбуду України. Норми проектування).

Stalevi konstruktsiyi [Tekst]: DBN V.2.6 – 198: 2014. – [ofits. vyd.]. – K.: DP «Ukrarkhbudinform», 2014. – 199 s. – (Normatyvnyy dokument Minrehionbudu Ukrayiny. Normy proektuvannya).