

**ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ПЕРФОРОВАНИХ ДВОТАВРІВ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ В
СТАЛЕВІЙ МАЛОЕЛЕМЕНТНІЙ ФЕРМІ**

**INVESTIGATION OF THE REASONABILITY OF USING PERFORATED
JOINTS OF VARIABLE RIGIDITY IN A STEEL FARM OF SMALL
ELEMENTS**

Налепа О.І., к.т.н., доцент, Філіпчук С.В., к.т.н., доцент, Мисливий Т.А., студент, Крейч М.М., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Nalepa O.I., candidate of engineering sciences, associate professor, Filipchuk S.V., candidate of engineering sciences, associate professor, Myslyvyi T.A., student, Kreich M.M., student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

Наведений аналіз роботи малоелементної сталевій ферми прольотом 18 м під навантаженням. Обґрунтований вибір перерізу верхнього поясу у вигляді перфорованого двотавра змінної висоти по довжині поясу.

One of the ways to reduce the material consumption of steel trusses is the use of initial systems with a minimum number of elements, the concentration of material in the main bearing elements, the use of highly efficient profiles. The researched truss in the form of a sprengel system, which consists of a two-sloped upper belt, a lower broken belt and two risers connecting the belts, can correspond to such design directions. The upper belt in the areas between the support and ridge nodes is a rigid, inseparable rod that receives all three types of internal forces: bending moment M , longitudinal force N and transverse force Q . The main role here is played by the bending moment, the value of which along the belt varies from zero values to certain extreme values. The possibility of using perforated I-beams of constant and variable stiffness in the upper belt has been studied. The characteristic curves of the bending moment in the upper belt and the structural solutions of the rods for each of the given stiffness change schemes are considered. The final proposed constructive solution of the upper belt of the truss with a span of 18 meters in the form of a perforated I-beam of variable height. The permissible range of changes in the values of the bending moment is obtained. A geometric interpretation of the area of possible moment values is established.

Ключові слова: Балка, ферма, двотавр, тавр, різка.
Beam, truss, H-beam, tee-beam, cutting.

Вступ. Одними з напрямків зменшення матеріаломісткості сталевих кроквяних ферм є використання вихідних систем з мінімальною кількістю елементів, концентрація матеріалу в основних несучих елементах, використання високоефективних профілів. Таким напрямкам при проектуванні може відповідати досліджувана в [1, 2, 3] ферма у вигляді шпренгельної системи, яка складається з двосхилого верхнього поясу, нижнього ламаного поясу та двох стояків, що з'єднують пояси (рис. 1).

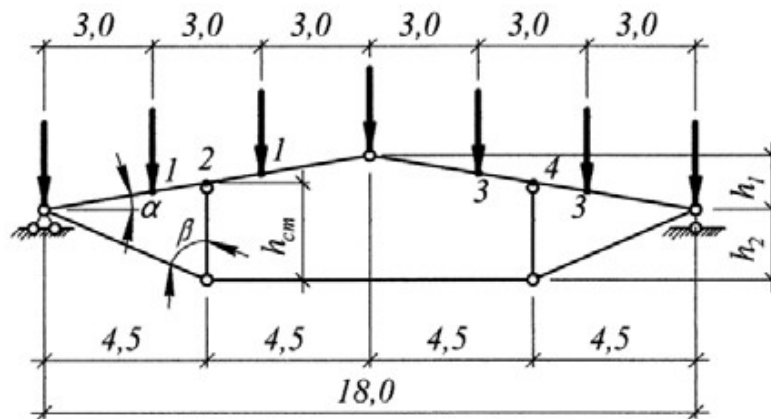


Рис.1. Вихідна система ферми

Верхній пояс на ділянках між опорними та коньковим вузлами являє собою жорсткі нерозрізні стержні, які сприймають всі три види внутрішніх зусиль: згинальний момент M , поздовжню силу N та поперечну силу Q . Основну роль тут відіграє згинальний момент, величина якого вздовж поясу змінюється від нульових значень до певних екстремальних значень. Досліджена можливість використання у верхньому поясі перфорованих двотаврів постійної та змінної жорсткості. Розглянуті характерні епюри згинального моменту у верхньому поясі та конструктивні рішення стержнів для кожної з наведених схем зміни жорсткості. Остаточно запропоноване конструктивне рішення верхнього поясу ферми прольотом 18 метрів у вигляді перфорованого двотавра змінної висоти. Отриманий допустимий діапазон зміни значень згинального моменту. Встановлена геометрична інтерпретація області можливих значень моменту.

Мета і задачі досліджень. В прийнятому розподіленні згинального моменту і конструктивному рішенні верхнього поясу ферми існує одна важлива особливість, яку варто дослідити з метою доказу ефективності використання перфорованих двотаврів змінної висоти в наведеній вище вихідній системі ферми. Сутність її в наступному. Загально прийнято

вважати статику вихідної системи первинною і, відштовхуючись від неї, шукати конструктивні рішення елементів. За такого підходу до рішення задачі оптимальним розподілом згинального моменту у верхньому поясі є рівномоментний розподіл. Це повністю виправдано, оскільки в цьому випадку екстремальні значення згинального моменту будуть одночасно мінімальні з усіх можливих. Відповідно і найбільш доцільним було б використання у верхньому поясі перфорованого стержня з постійною висотою перерізу. Однак високоефективні види профілів, якими є перфоровані двотаври зі змінною по довжині висотою перерізу, змусили вирішувати питання конструктивного характеру і розподілу внутрішніх зусиль одночасно.

Проаналізуємо геометричні характеристики перерізів перфорованих двотаврів з постійною (типу А2, рис. 2) і змінною (типу Б2, рис. 3) [2] по довжині висотою перерізу. Максимально можлива висота перерізу у них буде однакова. При цьому у Б2 вона плавно зменшується по довжині стержня. Найбільш важливими для нас є геометричні характеристики в перерізах з екстремальними значеннями згинального моменту (точки 1, 2, 3 і 4 геометричної схеми, рис. 4).

В табл. 1 і на графіках рис. 5 дано їх порівняння за максимально можливого розвитку перерізу для вихідного двотавра 23Б1.

Параметри розкрою при цьому рівні: для стержня з постійною висотою перерізу $h_i = 4$ см, $c_{ij} = 15$ см; для стержня зі змінною висотою перерізу $h_i = 4$ см, $c_{ij} = 4$ см. Максимально можлива висота перерізу при цьому в обох випадках рівна 38 см. Порівнюються значення площі перерізу (A), моменту інерції всього перерізу (I), висоти тавра в ослабленому перерізі (h_T), а також моменти інерції таврів (I_T), максимальний ($W_{T, \max}$) та мінімальний ($W_{T, \min}$) моменти опору таврів. За 100% прийняті характеристики стержня з постійною висотою перерізу.

Аналіз результатів підрахунків показує, що геометричні характеристики перерізу з найбільшою висотою стержня типу Б2 набагато перевищують аналогічні характеристики стержня типу А2. В точках 1 та 3 (див. рис. 4) значення моменту інерції I стержня Б2 дещо менше, однак незрівнянно більшими залишаються геометричні характеристики окремих таврових перерізів, а саме вони є визначальними при розрахунках перфорованих елементів. Висота таврів за даного розрізу стінки у стержня А2 рівна 4 см по всій довжині, а у стержня Б2 змінюється від 4 см у найменшому перерізі до 15 см в найбільшому. При збільшенні висоти таврів стержня А2 відбувається зменшення висоти перерізу всього стержня. В табл. 2 та на рис. 6 дано

порівняння геометричних характеристик перерізів при висоті тавра стержня А2, рівній середній висоті тавра описаного вище стержня Б2. Його висота при цьому рівна 9,5 см, а висота всього стержня - 27 см. За такого розрізу характеристики таврових перерізів набагато збільшились, а значення I зменшилось. Однак в усіх перерізах з екстремальними значеннями згинального моменту геометричні характеристики стержня зі змінною висотою перерізу перевершують характеристики стержня з постійною висотою.

Результати досліджень. Висновок. Таким чином, при одному і тому ж вихідному двотаврі несуча здатність перфорованого стержня зі змінною по довжині висотою перерізу в місцях з екстремальними значеннями згинального моменту значно більша, ніж перфорованого стержня постійної висоти. Ефективність використання цих стержнів у верхньому поясі ферми викликала необхідність перерозподілу значень згинального моменту пропорційно значенням геометричних характеристик перерізів (див. рис. 4).

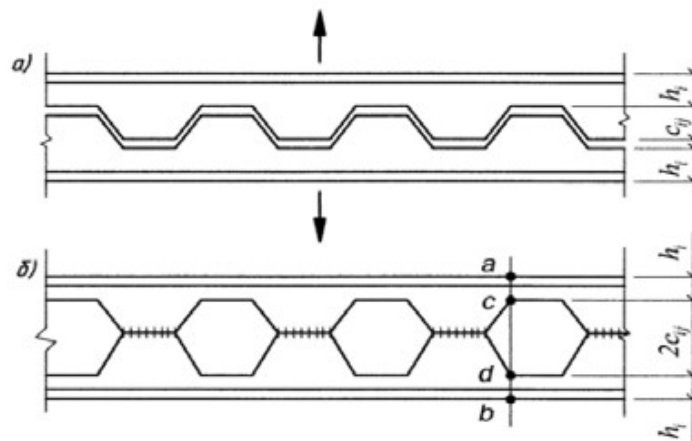


Рис. 2. Схема утворення перфорованого двотавра постійної жорсткості типу А2: а) вихідний двотавр; б) отриманий перфорований двотавр

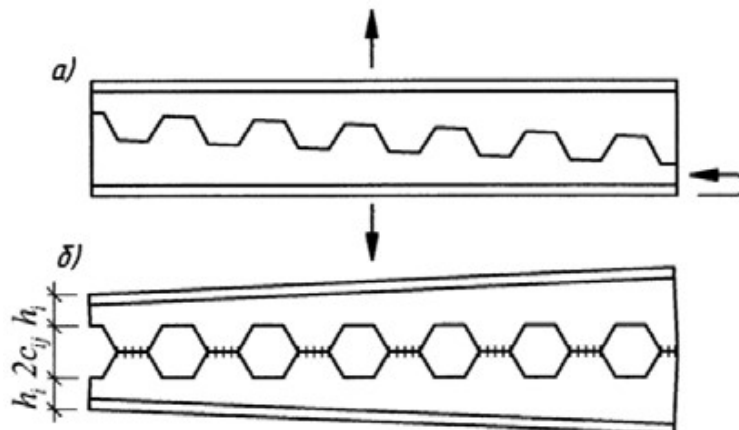


Рис. 3. Схема утворення перфорованого двотавра змінної жорсткості типу Б2: а) вихідний двотавр; б) отриманий перфорований двотавр

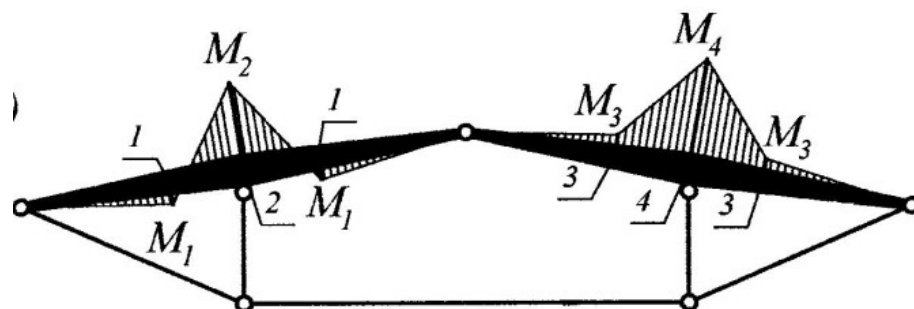


Рис. 4. Схема зміни жорсткості верхнього поясу та перерізи з екстремальними значеннями згинального моменту

Таблиця 1

Порівняння геометричних характеристик перерізів за максимального розвитку двотавра 23Б1

Параметри	Переріз стержня типу А2	Максимальний переріз стержня типу Б2	Переріз в точках 1 і 3 стержня типу Б2	Мінімальний переріз стержня типу Б2
1	2	3	4	5
$h_T, \text{ см}$	$\frac{4,00}{100\%}$	$\frac{15,00}{375\%}$	$\frac{11,33}{283\%}$	$\frac{4,00}{100\%}$
$A, \text{ см}^2$	$\frac{24,51}{100\%}$	$\frac{36,83}{150\%}$	$\frac{32,72}{134\%}$	$\frac{24,51}{100\%}$
$I, \text{ см}^4$	$\frac{8160,69}{100\%}$	$\frac{9396,79}{115\%}$	$\frac{5733,80}{70\%}$	$\frac{1298,45}{16\%}$
$I_T, \text{ см}^4$	$\frac{9,29}{100\%}$	$\frac{383,56}{4129\%}$	$\frac{173,83}{1871\%}$	$\frac{9,29}{100\%}$
$W_{T, \text{ min}}, \text{ см}^3$	$\frac{2,88}{100\%}$	$\frac{33,92}{1178\%}$	$\frac{19,69}{684\%}$	$\frac{2,88}{100\%}$
$W_{T, \text{ max}}, \text{ см}^3$	$\frac{12,00}{100\%}$	$\frac{103,87}{866\%}$	$\frac{69,43}{579\%}$	$\frac{12,00}{100\%}$

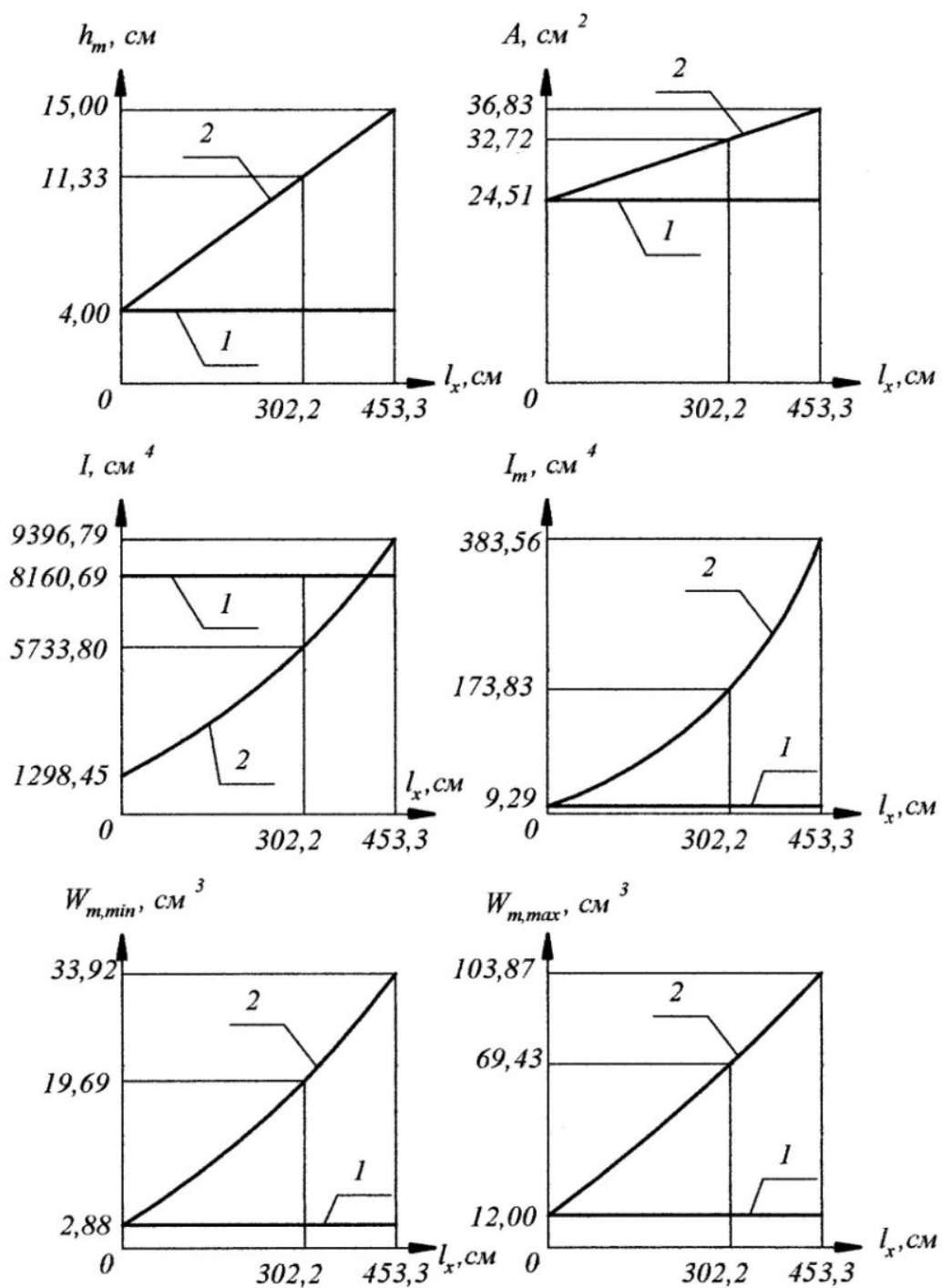


Рис. 5. Графіки зміни значень геометричних характеристик ослаблених перерізів верхнього поясу на ділянці від опорного (або конькового) вузла до вузла примикання стояка (до табл. 1):
 1 - стержня постійної висоти; 2 - стержня змінної висоти

Порівняння геометричних характеристик перерізів за висоти тавра стержня типу А2, яка рівна середній висоті тавра стержня типу Б2 (для вихідного двотавра 23Б1)

Параметри	Переріз стержня типу А2	Максимальний переріз стержня типу Б2	Переріз в точках 1 і 3 стержня типу Б2	Мінімальний переріз стержня типу Б2
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
$h_T, \text{ см}$	$\frac{9,50}{100\%}$	$\frac{15,00}{158\%}$	$\frac{11,33}{119\%}$	$\frac{4,00}{42\%}$
$A, \text{ см}^2$	$\frac{30,67}{100\%}$	$\frac{36,83}{120\%}$	$\frac{32,72}{107\%}$	$\frac{24,51}{80\%}$
$I, \text{ см}^4$	$\frac{4284,33}{100\%}$	$\frac{9396,79}{219\%}$	$\frac{5733,80}{134\%}$	$\frac{1298,45}{31\%}$
$I_T, \text{ см}^4$	$\frac{104,96}{100\%}$	$\frac{383,56}{365\%}$	$\frac{173,83}{166\%}$	$\frac{9,29}{9\%}$
$W_{T, \text{ min}}, \text{ см}^3$	$\frac{13,95}{100\%}$	$\frac{33,92}{243\%}$	$\frac{19,69}{141\%}$	$\frac{2,88}{21\%}$
$W_{T, \text{ max}}, \text{ см}^3$	$\frac{53,17}{100\%}$	$\frac{103,87}{195\%}$	$\frac{69,43}{131\%}$	$\frac{12,00}{23\%}$

При цьому слід відмітити, що значення згинального моменту M_4 у верхньому поясі змінної жорсткості перевищує значення моменту в цій точці за рівномоментної схеми. Як показали числові дослідження, це зростання складає приблизно 35%. Однак геометричні характеристики цього перерізу за переходу від стержня постійної жорсткості до стержня змінної жорсткості збільшуються в межах від 2 до 12 раз (залежно від значень параметрів розрізу вихідного двотавра). Значення згинального моменту M_I за переходу від рівномоментного верхнього поясу до поясу змінної жорсткості зменшується в середньому 1,35 рази, а геометричні характеристики перерізу збільшуються в межах від 1,3 до 5 разів. Таким чином, за переходу від рівномоментної схеми розподілу згинального моменту і відповідного їй використання перфорованих стержнів з постійною висотою перерізів до схеми, за якої виконується умова $|M_4| > |M_I|$ і якій відповідає конструктивне рішення верхнього поясу у вигляді перфорованого двотавра зі змінною по довжині

висотою перерізу, збільшуються значення як згинального моменту M_4 , так і геометричних характеристик перерізів в точках 4 та 1 (значення M_1 зменшується). Однак збільшення геометричних характеристик перерізів в декілька разів перевершує збільшення екстремальних значень згинаючих моментів у вирішальних перерізах.

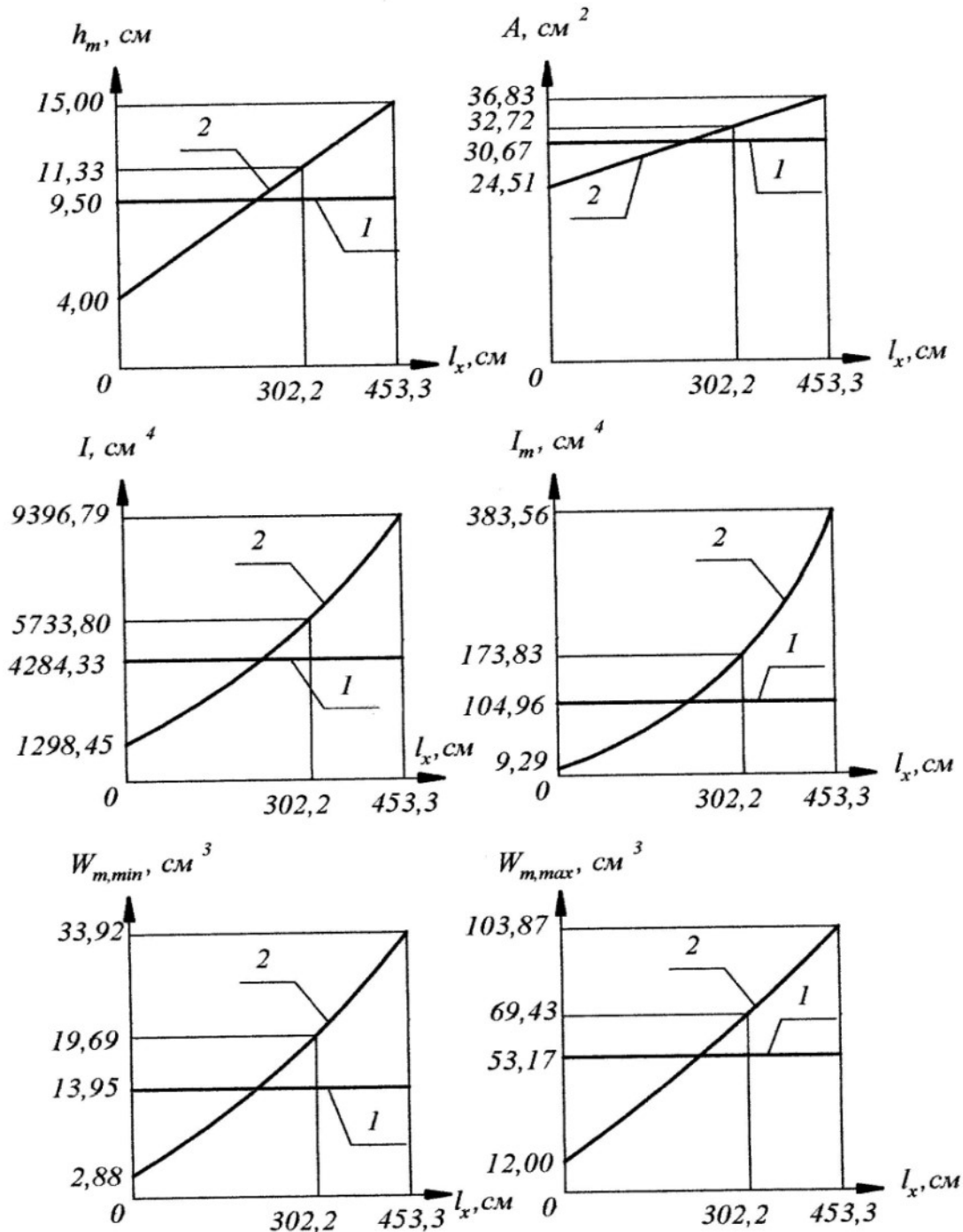


Рис. 6. Графіки зміни значень геометричних характеристик ослаблених перерізів верхнього поясу на ділянці від опорного (або конькового) вузла до вузла примикання стояка (до табл. 2):

1 - стержня постійної висоти; 2 - стержня змінної висоти

Звідси випливає висновок, що використання перфорованих елементів змінної жорсткості в подібних конструкціях є більш ефективним порівняно з перфорованими елементами постійної жорсткості по довжині.

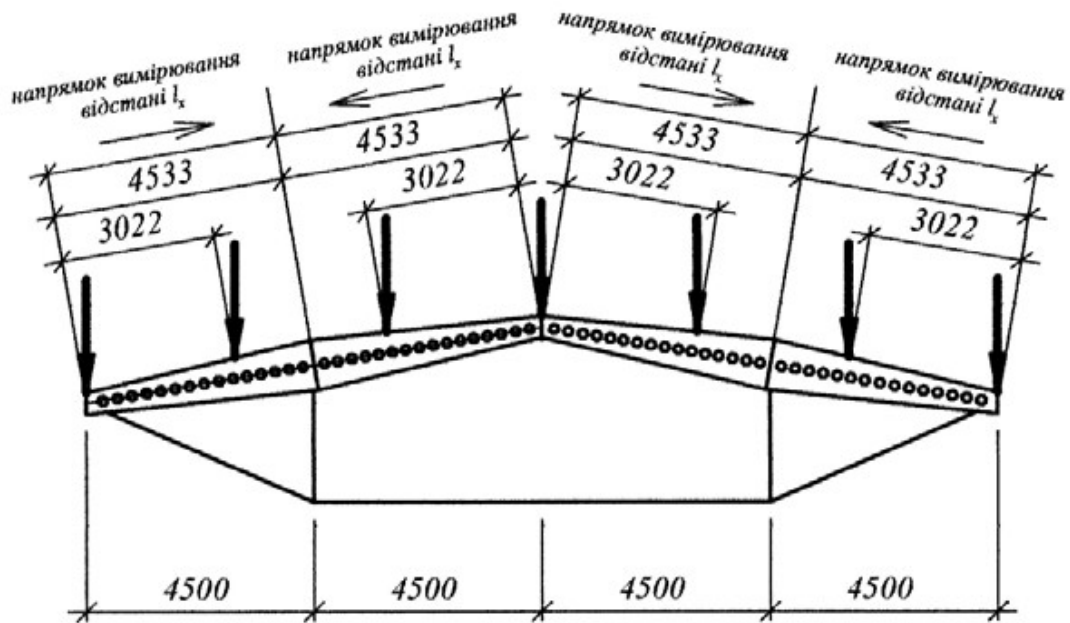


Рис.7. До визначення на графіках відстані l_x

1. Налєпа О.І., Чорнолоз В.С. Ефективні металеві конструкції виробничих будівель з використанням перфорованих двотаврів змінної жорсткості та одинарних профілів. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2018. – Випуск 36. – С. 203 – 211.

Nalera O.I., Chornoloz V.S. Efektyvni metalevi konstruktsii vyrobnychykh budivel z vykorystanniam perforovanykh dvotavriv zminnoi zhorstkosti ta odyarnnykh profiliv. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. – Rivne: NUVHP, 2018. – Vypusk 36. – S. 203 – 211.

2. Налєпа О.І., Філіпчук С.В., Шолота Т.Ю. Дослідження раціональної конструктивної форми сталеві малоелементної ферми прольотом 18 м. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2022. – Випуск 41. - С. 159 - 172.

Nalera O.I., Filipchuk S.V., Sholota T.Iu. Doslidzhennia ratsionalnoi konstruktyvnoi formy stalevoi maloelementnoi fermi prolptom 18 m. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy: Zbirnyk naukovykh prats. – Rivne: NUVHP, 2022. – Vypusk 41. - S. 159 - 172.

3. Жербін М.М., Дробязко Л.Є. Эффективность замены железобетонных конструкций особо легкими стальными. - Строительство и архитектура, 1984, №2, с. 17-19.

Zherbin M.M., Drobiazko L.Ie. Effektyvnost zameny zhelezobetonnykh konstruktsiyi osobo lehkyomy stalnymy. - Stroytelstvo y arkhitektura, 1984, №2, s. 17-19.