

УДК 624.014

ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ ФОРМИ СТАЛЕВОЇ МАЛОЕЛЕМЕНТНОЇ ФЕРМИ ПРОЛЬОТОМ 18 М

STUDY OF THE RATIONAL STRUCTURAL FORM OF A STEEL SMALL ELEMENT FRAMEWORK WITH A SPAN OF 18 M

Налепа О.І., к.т.н., доцент, Філіпчук С.В., к.т.н., доцент, Щолота Т.Ю., студентка (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, Sholota T.Y., a female student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne),

Наведений аналіз роботи малоелементної сталеві 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.

- Основними напрямками при проектуванні кроквяних ферм можуть бути:
- використання вихідних систем з мінімальною кількістю елементів;
 - концентрація матеріалу в основних несучих елементах;
 - використання високоефективних видів профілів;
 - використання прокату з підвищеними механічними характеристиками.

Концентрація матеріалу виконується, як правило, в найбільш навантажених і відповідальних елементах конструкцій. Такими елементами є стиснуті елементи. В кроквяних фермах - це верхні пояси, які безпосередньо сприймають зовнішнє навантаження. Забезпечення даного принципу можливе за рахунок зведення до мінімуму кількості неосновних елементів системи, зокрема елементів решітки і окремих деталей.

Такою може бути вихідна система у вигляді статично визначеної шпренгельної системи (рис. 1), яка складається з двохсхилого верхнього поясу з шарніром в коньковому вузлі, нижнього ламаного поясу та двох стояків, що з'єднують пояси. Верхній пояс на ділянках між опорними та коньковим вузлами являє собою жорсткі нерозрізні стержні. Стояки розміщені вертикально на відстані чверті прольоту від опорних вузлів з метою забезпечення симетричності епюри згинаючого моменту у верхньому поясі кожної півферми відносно осі стояка. Ухил верхнього поясу прийнятий $1/8$ прольоту і характеризується кутом α . Нижній пояс системи має ламаний обрис з точками зламів в місцях примикання стояків. Висота його провисання відносно опорних вузлів залежить від величини кута β .

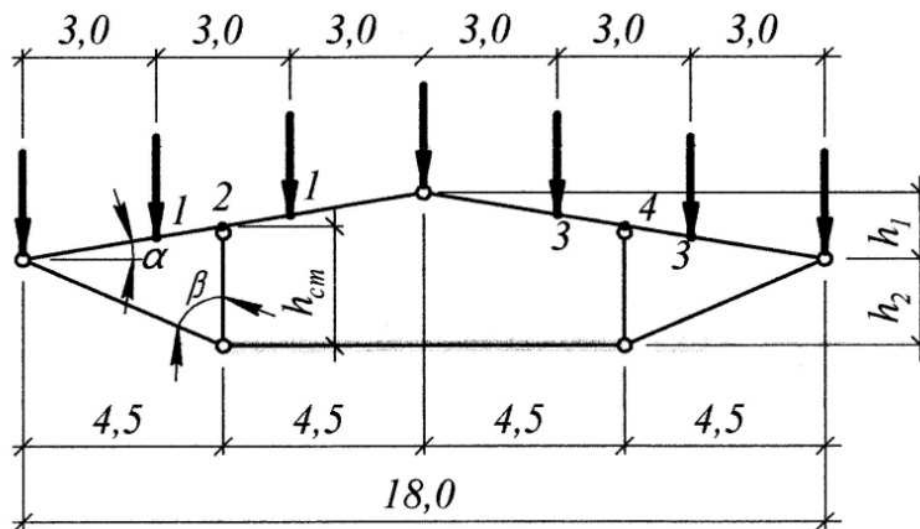


Рис. 1. Вихідна система ферми

Розглянута вище вихідна система має ряд особливостей, які впливають на її роботу під навантаженням. Основна особливість полягає у відсутності решітки, а це, в свою чергу, визначає ще одну характерну особливість комбінованої системи - роботу верхнього поясу на стиск зі згином за будь-якого вигляду зовнішнього навантаження. Таким чином, верхній пояс ферми сприймає всі три

види внутрішніх зусиль: згинаючий момент M , поздовжню силу N та поперечну силу Q . Оскільки кут ухилу верхнього поясу до горизонту малий, то діапазон зміни поздовжнього зусилля по довжині верхнього поясу незначний, тобто можна вважати $N \approx \text{const}$. Поперечна сила також не має відчутного впливу на конструктивне рішення верхнього поясу. Основну роль тут відіграє згинаючий момент, величина якого вздовж поясу змінюється від нульових значень до певних екстремальних значень. Епюра згинаючого моменту має постійний характер з екстремальними значеннями в точках прикладання зовнішнього навантаження і нульовими значеннями в опорних та коньковому вузлах. Величина екстремальних значень M може бути різною і залежить від геометричних параметрів вихідної системи. Зміна геометричних параметрів схеми значно позначається на екстремальних значеннях згинаючого моменту, впливаючи на величину наростання (або спаду) значень моменту вздовж поясу. При цьому значення поздовжньої сили залишаються майже незмінними. Таким чином, необхідно мати на увазі основну особливість розподілу внутрішніх зусиль у верхньому поясі, а саме: значення поздовжньої сили вздовж поясу за фіксованих значень зовнішнього навантаження і геометричних параметрів системи знаходяться практично на одному рівні, а значення згинаючого моменту змінюються від нуля до певного максимуму. З усіх силових факторів лише згинаючий момент відчутно змінюється вздовж верхнього поясу. Тому основна задача зводиться до оптимального розподілення саме згинаючого моменту, який відіграє визначальну роль в описаній вихідній системі. Це положення є основним й при розробці конструктивної форми кроквяної ферми на основі наведеної системи.

Оскільки перевищення конькового вузла над опорним h_1 (див. рис. 1) має фіксоване значення і задається кутом α , рівним $\alpha = \arctg(1/8)$, то розподілення значень згинаючого моменту вздовж верхнього поясу залежить від висоти стояка, яка визначається величиною кута β . Зміна його значення призводить до суттєвих змін екстремальних значень M за нікчемних змін N і Q .

Розрахунок верхнього поясу повинен виконуватися по вирішальним перерізам, розміщеним в місцях з екстремальними значеннями згинаючого моменту, тобто в точках 1, 2, 3 і 4 геометричної схеми (рис. 2). В цих перерізах сумарні значення внутрішніх зусиль досягають свого максимуму. Вирішальним навантаженням для розрахунку верхнього пояса є несиметричне, оскільки значення внутрішніх зусиль в цьому випадку перевищують аналогічні значення за симетричного навантаження. Несиметричне навантаження можливе у випадку відсутності на одній з половин прольоту снігового покриву.

Оскільки всі інші елементи системи знаходяться в одноосно напруженому стані і їх сумарна вага, як показують дослідження комбінованих систем, складають незначну долю в загальній вазі конструкції, і враховуючи, що варіювання в допустимих межах визначальним параметром розрахункової схеми - кутом β - мало позначається на зміні поздовжніх зусиль в цих елементах, то зменшення металомісткості конструкції в цілому залежить від

полегшення верхнього поясу. Цим і пояснюється особлива увага до його ефективного конструктивного рішення.

Робота верхнього поясу на стиск зі згином викликає необхідність виконувати його з елементів, які мають значну згинальну жорсткість. Сюди, в першу чергу, відносяться двотаври з паралельними гранями полиць. За їх використання верхній пояс являє собою стержень з постійною згинальною жорсткістю по довжині. Розподіл згинаючого моменту вздовж поясу за такого його конструктивного рішення полягає у вирівнюванні максимальних значень M в точках 1 і 4 (див. рис. 2) і отриманні рівномomentного верхнього поясу. Ефективними для використання у верхньому поясі є перфоровані стержні двотаврового профілю [1].

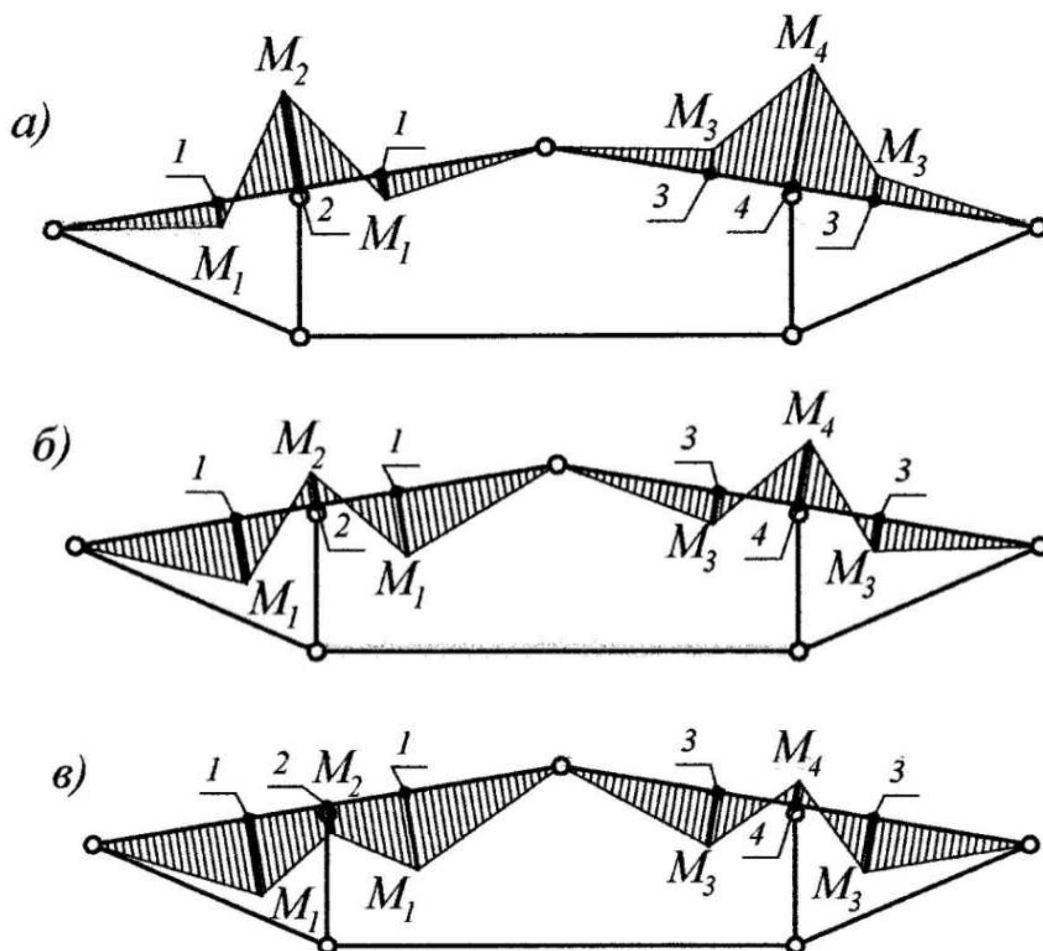


Рис. 2. Характерні схеми розподілу згинаючого моменту за несиметричного навантаження

Конструктивна форма стержнів з перфорованою стінкою, які отримуються різкою стінки вихідного двотавра по зигзагоподібній лінії з наступним з'єднанням по гребеням зварюванням (рис. 3), виникла завдяки прагненню забрати метал з зони, де він використовується неефективно і збільшити момент інерції перерізу за рахунок збільшення висоти стержня. Зі збільшенням висоти

перерізу крім збільшення моменту інерції збільшується момент опору i , відповідно, несуча здатність стержня без збільшення його маси.

Описана конструктивна форма знайшла досить широке використання завдяки ряду переваг порівняно зі суцільностінчатими і решітчатими елементами конструкцій. Елементи подібного типу економічніші аналогічних конструкцій з використанням прокатних двотаврів за витратами сталі до 25...40% і за вартістю до 15...25%, не дивлячись на деяке збільшення витрат, пов'язаних з виготовленням розвинутого профілю. В порівнянні зі зварними двотаврами ці елементи мають меншу протяжність зварних швів і довжину різів, а отже їх виготовлення менш трудомістке.

Крім цього, проектні пропозиції та експериментальні дослідження дозволяють зробити висновок, що використання перфорованих елементів в комбінованих конструкціях значно покращить їх техніко-економічні показники.

Висота перфорованих елементів, всі геометричні характеристики перерізів залежать від параметрів розкрою вихідних профілів h_i і c_{ij} (див. рис. 3), де h_i - менша з відстаней від зовнішньої кромки полиці до початку лінії різів, c_{ij} - висота зигзагу лінії різів. Найбільший розвиток висоти перерізу відбувається за мінімально можливого значення h_i та максимально можливого значення c_{ij} . При розрахунках перфорованих стержнів нормальні напруження визначаються в точках a , b , c і d перерізів, що проходять через окремі таври в кутах отворів. Тому поряд зі збільшенням згинальної жорсткості всього перерізу важливо забезпечити і необхідні значення геометричних характеристик окремих таврових перерізів. Залежність тут обернена: зі збільшенням висоти перерізу всього стержня зменшується висота перерізу таврів. Виходячи з цього, максимально розвивати переріз перфорованого елемента практично не вдається через нездатність таврових перерізів сприймати діючі зусилля.

Використання у верхньому поясі комбінованої системи перфорованих стержнів постійної жорсткості має свої переваги перед прокатними профілями, які полягають в підвищеній несучій здатності. Однак в обох випадках стержні постійного по довжині перерізу мають і суттєвий недолік. Повністю використати міцнісні властивості матеріалу можливо лише в трьох вирішальних перерізах вздовж верхнього поясу, тобто в точках 1 і 4 (див. рис. 2). Всі інші перерізи, а особливо віддалені від найбільших значень згинаючого моменту, мають значний нереалізований запас міцності матеріалу. Позбутися цього нераціонального наростання запасу міцності по довжині верхнього поясу при віддаленні від екстремальних значень моменту при постійному перерізі неможливо. Таким чином, конструктивне рішення ферми з верхнім поясом постійної жорсткості не може відповідати критерію раціональності, тобто такому стану, за якого напруження в усіх перерізах одночасно досягають розрахункового опору сталі. Неможливе в цьому випадку повне використання міцнісних характеристик матеріалу. В результаті слідує висновок про необхідність пошуку таких конструктивних рішень верхнього поясу, які б

дозволили прибрати частину матеріалу з тих зон, де він не використовується, і довести верхній пояс до такого стану, за якого по всій його довжині будуть повністю використовуватися міцнісні характеристики матеріалу.

Найбільш ефективний шлях виправлення недоліків, які притаманні верхньому поясу постійної жорсткості, - використання стержнів рівного опору чи близьких до них, у яких характер зміни геометричних характеристик перерізів по довжині відповідав би характеру зміни епюри згинаючого моменту. Враховуючи, що епюра має плавноміний характер, повну відповідність геометричних характеристик перерізів епюрі моменту можливо досягнути лише за аналогічної плавноміності перерізу верхнього поясу по його довжині. Сказане означає, що необхідно перерозподілити метал по довжині верхнього поясу у відповідності з епюрою моменту, сконцентрувавши його в місцях дії максимальних значень M . Збільшення перерізу, а відповідно і його геометричних характеристик у вертикальній площині від місця з нульовим значенням моменту до місця з його найбільшим значенням рівнозначно збільшенню згинальної жорсткості в цьому ж напрямку в площині дії моменту. Лише таке рішення дозволить досягнути рівнонапруженості всіх перерізів верхнього поясу по його довжині, що означало б, в результаті, відповідність конструкції в цілому критерію раціональності.

Конструктивно виконати зміну жорсткості у вертикальній площині стержня двотаврового профілю, враховуючи плавноміний характер, можливо декількома способами. Перший спосіб полягає у використанні складених зварних двотаврів, у яких стінка має плавноміну висоту. Притаманні такому виду стержнів загальновідомі недоліки змушують шукати інші шляхи утворення стержнів рівного опору. Один з них полягає у використанні прокатних двотаврів з наступною різкою стінки прямою лінією по діагоналі, поворотом однієї з половинок на 180° і зварюванням по всій довжині стику. В результаті, з одного боку переріз виходить з більш розвинутою висотою порівняно з вихідним двотавром, а з другого боку його висота менша вихідної. Ще більше розвинути висоту перерізу по всій довжині стержня порівняно з попереднім (при тому ж номері вихідного двотавра) дозволяє спосіб, вперше застосований М.М.Жербініним та Л.Є.Дробязко для утворення елементів каркасу сільськогосподарських будівель. Він полягає в тому, що стінка вихідного двотавра розрізається зигзагоподібною лінією по діагоналі, одна з отриманих половинок повертається на 180° , а потім обидві половинки зварюються по гребеням виступів (рис. 4). Таким чином, маємо перфорований стержень змінної по довжині висоти перерізу, у якого з одного боку висота перерізу майже вдвічі перевищує вихідну, а з іншого боку залишається практично тією ж. Порівнюючи цей стержень з попереднім, легко переконалися в тому, що за однакової висоти більших перерізів менший переріз в нього буде більш розвинутий на величину отвору. Це призводить до зростання несучої здатності перфорованого стержня порівняно з суцільностінчатим в напрямку від більшого перерізу до меншого. Перфоровані стержні виконуються з

регулярною системою отворів у вигляді правильних шестикутників з постійними геометричними параметрами по довжині. Така форма отворів найкраще узгоджується одночасно з вимогами зменшення концентрації напружень по периметру отворів і підвищення технологічності виготовлення. Перфоровані елементи змінної висоти вперше були застосовані в Україні у тришарнірних рамах будівлі вівчарні у Вінницькій області [2]. Сенс рішення полягає в тому, що зміна геометричних характеристик перерізів по довжині елементів відбувається пропорційно зміні значень згинаючого моменту. На ділянках, які сприймають найбільші значення M , концентрується основна доля матеріалу. Все це дає можливість раціонально використати матеріал і отримати рівнонапружений по всій довжині стержень.

При використанні у верхньому поясі елементів рівного опору задача проектування зводиться до розподілення згинаючого моменту по їх довжині з врахуванням зміни жорсткісних характеристик. Останні наперед невідомі і, в свою чергу, залежать від розподілення моменту. Рішення цієї двоєдиної задачі полягає в пошуку оптимальної відповідності епюри згинаючого моменту характеру зміни геометричних характеристик перерізів верхнього поясу по його довжині. Складність її рішення в тому, що два шукані параметри зарання невідомі і взаємно залежать один від одного.

Розглянемо, який вигляд будуть мати епюри згинаючого моменту при несиметричному навантаженні, як більш несприятливому (див. рис. 2). Вважається, що на ліву півферму діє більше значення зовнішнього навантаження, а на праву півферму - менше.

Розглянуті характерні епюри згинаючого моменту у верхньому поясі, враховуючи, що екстремальні його значення виникають в точках 1, 2, 3 та 4 геометричної схеми. Так, за схемою на рис. 2,а значення моменту в точках 1 і 3 однакові, при цьому їх величина одночасно мінімально можлива з усіх екстремальних. Максимальне значення в цьому випадку приймає момент M_4 в перерізі над стояком. Цю схему умовно назвемо верхньою граничною схемою, виходячи з того, що недоцільно збільшувати від'ємне значення моменту M_4 , оскільки втрачається одночасна рівність максимальної кількості найменших екстремальних значень моменту. За схемою на рис. 2,в спостерігається зворотна картина: моменти в точках 2 і 4 однакові і одночасно мінімальні з усіх екстремальних; момент в точці 1 приймає максимальне значення. Цю схему умовно назвемо нижньою граничною схемою, оскільки тут недоцільне подальше збільшення додатного значення моменту M_1 . Схема на рис. 2,б являє собою такий розподіл згинаючого моменту, за якого $M_1 = -M_4$, тобто є рівномоментною схемою. Рівномоментність тут означає одночасну рівність максимальної кількості найбільших екстремальних значень моменту.

Сенс окремого виділення таких схем стає зрозумілим при розгляді основних можливих конструктивних рішень верхнього пояса, описаних нижче. Наведені схеми розподілу згинаючого моменту мають місце за певних значень кута β розрахункової схеми, який в загальному вигляді можна записати:

$$\beta = \arctg(\varphi_n \cdot ctg\alpha), \quad (1)$$

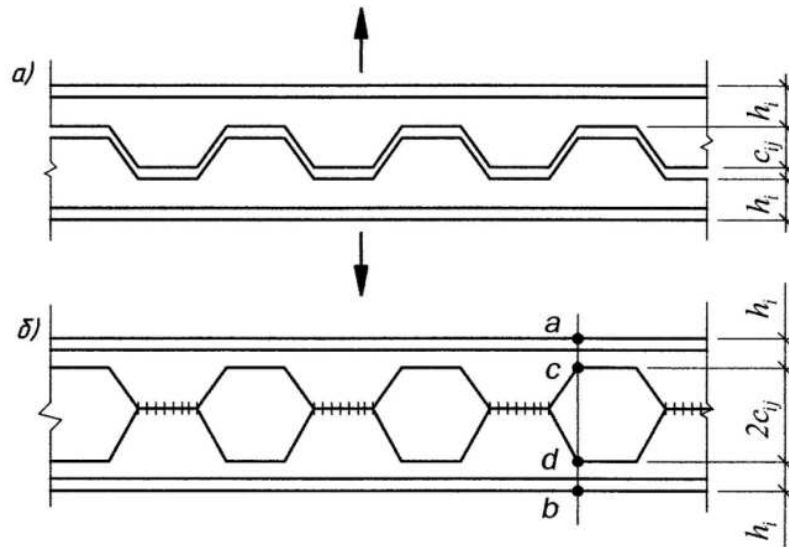


Рис. 3. Схема утворення перфорованого двотавра постійної жорсткості: а) вихідний двотавр; б) отриманий перфорований двотавр

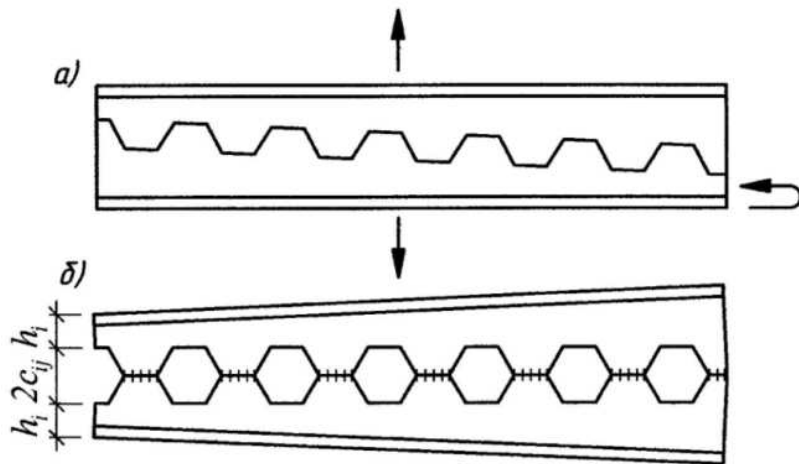


Рис. 4. Схема утворення перфорованого двотавра змінної жорсткості: а) вихідний двотавр; б) отриманий перфорований двотавр

де φ_n - введений в результаті попередніх досліджень параметричний коефіцієнт, рівний 0.25 для верхньої граничної схеми розподілення згинаючого моменту, 0.4375 для рівномоментної схеми і 0.625 для нижньої граничної схеми. Таким чином, єдиним фактором, який впливає на розподіл згинаючого моменту в наведеній системі є параметричний коефіцієнт φ_n . Лише від нього залежить величина і характер розподілення всіх внутрішніх зусиль в системі.

Таким чином, визначилися ті межі епюри згинаючого моменту, в яких можлива її зміна при виборі оптимального варіанту, відповідного геометричним характеристикам стержнів верхнього поясу по їх довжині. При цьому визначився і відповідний діапазон можливої зміни значень параметричного коефіцієнту: $0,25 \leq \varphi_n \leq 0,625$.

Це дає можливість звузити область досліджень при виборі оптимальних геометричних параметрів розрахункової схеми ферми в цілому, оскільки вони повинні знаходитися в межах, визначених коефіцієнтом φ_n .

Розглянемо можливі схеми зміни згинальної жорсткості верхнього поясу по його довжині для характерних схем розподілу згинаючого моменту. Епюра на рис. 5,б являє собою епюру згинаючого моменту при рівномоментній схемі, тобто з однаковими значеннями моменту у вирішальних перерізах. За такого розподілення M жорсткісні характеристики стержнів верхнього поясу повинні бути постійними по довжині. За верхньої граничної схеми (рис. 5,а) найбільш вигідно розміщувати переріз з найбільшими значеннями геометричних характеристик в точці 4 (і симетрично розміщеній точці 2), де діє найбільший момент. Характеристики перерізів в опорних і коньковому вузлах при цьому повинні бути достатніми для сприйняття лише поздовжнього і поперечного зусиль. У випадку нижньої граничної схеми (рис. 5,в) має сенс максимально розвивати перерізи в точках 1 (і симетрично їм розміщених точках 3). Таким чином, виділені три можливі схеми зміни жорсткості (тобто геометричних характеристик перерізів) верхнього поясу по його довжині, які відповідають характерним схемам розподілу згинаючого моменту. Саме за таких схем розподілу моменту найбільш очевидний сенс аналогічної зміни жорсткості. Тому вони умовно й названі характерними схемами.

Розглянемо конструктивні рішення стержнів для кожної з наведених схем зміни жорсткості. Схема "А" (табл. 1) вимагає постійних геометричних розмірів по довжині стержня. Цьому відповідають дві конструктивні схеми (розглядаються лише прокатні двотаврові профілі з паралельними гранями полиць через високі показники їх згинальної жорсткості) - стержень А1 у вигляді прокатного двотавра і стержень А2 з перфорованою стінкою постійної по довжині висоти перерізу. Зміна жорсткості за схемою "Б" можлива за рахунок плавного збільшення висоти перерізу стержня в напрямку від опорного і конькового вузлів до місця примикання стояка. При цьому схема Б1 являє собою суцільностінчатий стержень, а схема Б2 - перфорований. Жорсткість стержня за схемою "В" збільшується в напрямку від вузлів до пролітних точок прикладання зосереджених сил. Аналогічну зміну висоти мають і стержні В1 та В2.

Кожне конструктивне рішення має певні переваги і недоліки. Тому для вирішення питання конструктивної форми верхнього поясу необхідний порівняльний аналіз наведених конструктивних рішень. Виберемо спочатку найбільш ефективне рішення окремо в кожній з груп стержнів, які належать до однієї схеми зміни жорсткості.

Основна перевага стержня А1 порівняно зі стержнем А2 полягає в малих показниках витрат праці для його виготовлення. Але за металомісткістю він значно перевищує перфорований стержень. При одному і тому ж навантаженню використання перфорованих стержнів постійної висоти замість прокатних дає до 25...35% економії сталі. Для кінцевого рішення питання слід

уточнити, який з двох факторів – мінімальна трудомісткість виготовлення чи мінімальна металомісткість – є домінуючий. Дослідження структури вартості металевих конструкцій показує, що якщо вони виготовляються з одного матеріалу (наприклад, сталі однієї і тієї ж марки), то оптимальною можна вважати конструкцію найменшої маси. Відповідно, з групи конструктивних рішень за схемою жорсткості “А” більш ефективним є стержень А2.

Результати порівняння стержнів Б1 та Б2 дозволяють зробити наступні висновки:

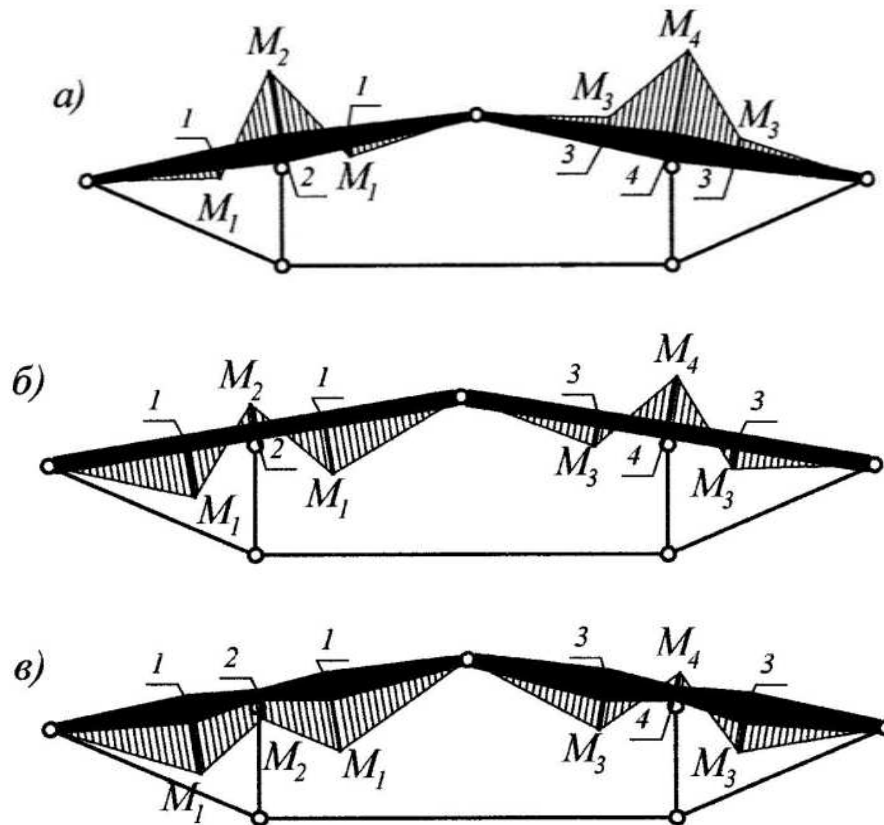


Рис. 5. Схеми зміни згинальної жорсткості верхнього поясу, які відповідають характерним схемам розподілення згинаючого моменту:

а) верхньої граничної; б) рівномоментної; в) нижньої граничної

- по-перше, при однаковій висоті середнього максимально розвинутого перерізу більшу несучу здатність має стержень Б2, оскільки висота його крайніх перерізів більша, ніж аналогічних у стержня Б1, на висоту отвору.

А це означає, що при одному і тому ж вихідному номері двотавра геометричні характеристики перерізів стержня Б2 по його довжині будуть завжди перевищувати аналогічні характеристики стержня Б1. А отже, серед двох наведених рішень показник металомісткості повинен бути меншим у стержня Б2;

по-друге, стержень Б2 порівняно з Б1 має меншу протяжність зварних швів, що знижує показник трудомісткості виготовлення. Таким чином, за схемою жорсткості “Б” безперечним є висновок про більшу ефективність конструктивного рішення Б2.







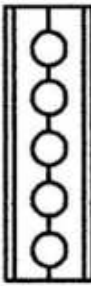


Схема жорсткості "В" при нижній граничній схемі розподілу моменту являє собою класичний приклад стержня рівного опору. Тут спостерігається ідеальний збіг епюри згинаючого моменту з характером зміни жорсткісних характеристик. З двох наведених конструктивних рішень цієї схеми зміни жорсткості більш ефективним є стержень В2, оскільки викладені вище міркування стосовно і цієї групи конструкцій дають аналогічний результат.

Таким чином, кінцевому аналізу повинні бути піддані конструктивні рішення у вигляді стержнів А2, В2 та В2.

Враховуючи недоліки конструктивного рішення верхнього поясу постійної жорсткості, стержень А2 можна виключити з подальшого розгляду, оскільки використання стержнів рівного опору чи близьких до них в елементах конструкцій завжди призводить до певної економії металу порівняно зі стержнями постійної жорсткості. Говорити про більшу чи меншу металомісткість елементів В2 і В2 на даному етапі порівняння немає можливості, оскільки навіть інтуїтивно важко визначити перевагу будь-якого за цим показником. Проте очевидний факт, що стержень В2 має більш високу складність виготовлення внаслідок наявності чотирьох трапецеподібних елементів двох типорозмірів, на відміну від двох елементів одного типорозміру у стержня В2, що суттєво ускладнює технологію виготовлення готових стержнів.

Виконане дослідження дозволило виявити, що з усіх конструктивних рішень верхнього поясу, наведених в табл. 1, найбільш ефективним є рішення у вигляді стержня В2. При цьому, відповідне йому розподілення згинаючого моменту завжди можна забезпечити встановленим раніше значенням параметричного коефіцієнта. Проте цю схему розподілення моменту жодним чином не можна вважати оптимальною для обраного конструктивного рішення, оскільки вона грає роль лише характерної схеми, виділеної окремо серед інших за викладеними раніше мотивами, і не більше. Та й сам пошук оптимальної відповідності епюри згинаючого моменту закономірності зміни геометричних характеристик перерізів верхнього поясу передбачає наявність певної області, в якій значення моменту можуть змінюватися, тобто допустимої області пошуку. Визначивши межі цієї області в діапазоні граничних схем, можна ще більше пришвидшити процес знаходження оптимального варіанту.

Таблиця 1
 Конструктивні рішення стержнів за схем зміни жорсткості верхнього поясу

Схеми зміни жорсткості	 <p>A</p>	 <p>B</p>	 <p>B</p>
Конструктивні рішення	 <p>A1</p>	 <p>B1</p>	 <p>B1</p>
	 <p>A2</p>	 <p>B2</p>	 <p>B2</p>

Дійсне існування такої області цілком можна пояснити. Збільшення жорсткості верхнього поясу від опорних і конькового вузлів до місця примикання стояка відбувається плавно, до того ж закономірність такого збільшення постійна. Значення ж моменту при верхній граничній схемі незначно зростають в цих же напрямках відповідно до точок 1 і 3, а потім відбувається різке збільшення з максимумом в точках 2 і 4. Сам собою напрашується висновок про необхідність згладжування епюри. Дійсно є сенс

розміщувати переріз з максимальним екстремальним значенням моменту в точках 2 і 4, де найбільша висота перерізу стержня. Проте перерізи в точках 1 і 3, в яких геометричні характеристики всього лише на третину від загальної величини їх зміни по довжині стержня знизилась порівняно з максимальним значенням, сприймають мізерну долю моменту порівняно з його максимумом. В цих характерних перерізах, а отже і далі по довжині стержня, буде існувати певний запас несучої здатності. Повністю його використати можливо лише при забезпеченні пропорційності значень моментів M_4 і M_1 значенням геометричних характеристик відповідних перерізів в точках 4 і 1.

Збільшення до певних меж, які визначаються несучою здатністю стержня, значень M_1 дозволяє, в свою чергу, дещо зменшити максимальне значення моменту M_4 . Саме ж конструктивне рішення відкидає можливість їх вирівнювання. Таким чином, визначився допустимий діапазон зміни значень згинаючого моменту у верхньому поясі (рис. 6). Лінія епюри моменту повинна знаходитися в проміжку між верхньою граничною і рівномоментною схемами розподілу моменту, виключаючи граничні положення. Геометрична інтерпретація області реалізованих чисельних значень згинаючого моменту наведена на рис. 7. Виділена на рисунку ділянка прямої є названою областю, при цьому залежність між екстремальними значеннями моменту завжди мають лінійний характер.

В цілому запропоноване конструктивне рішення верхнього поясу наведено на рис. 8.

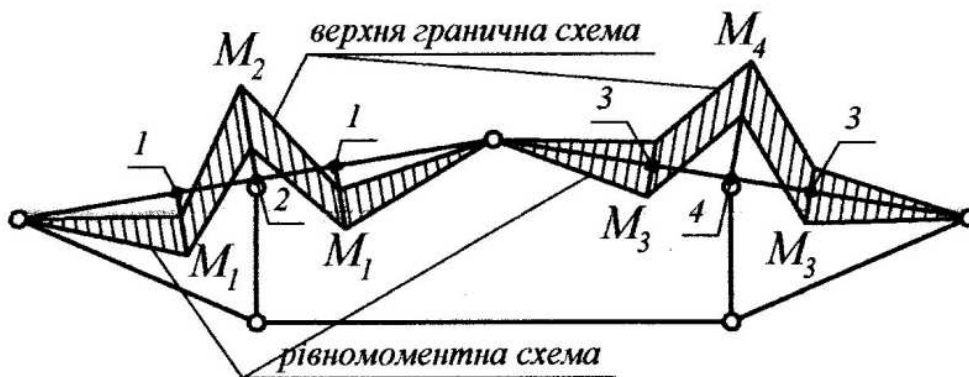


Рис. 6. Допустимий діапазон зміни значень згинаючого моменту

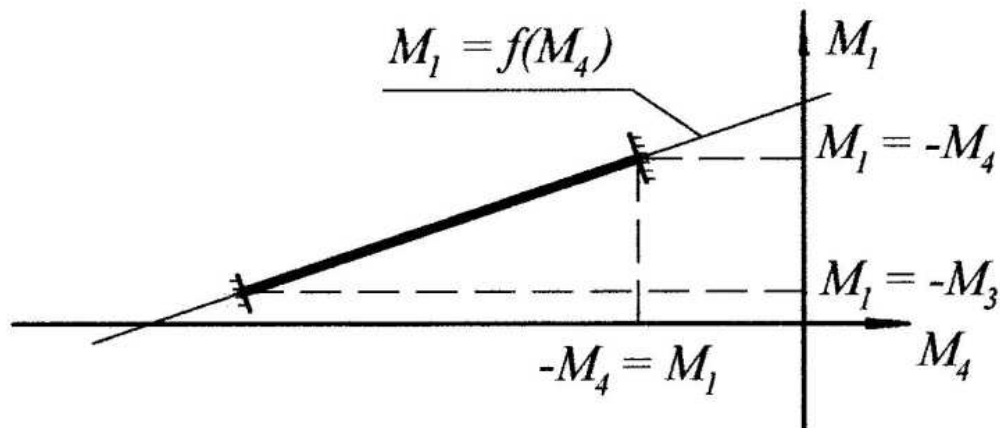


Рис. 7. Геометрична інтерпретація області можливих значень згинаючого моменту

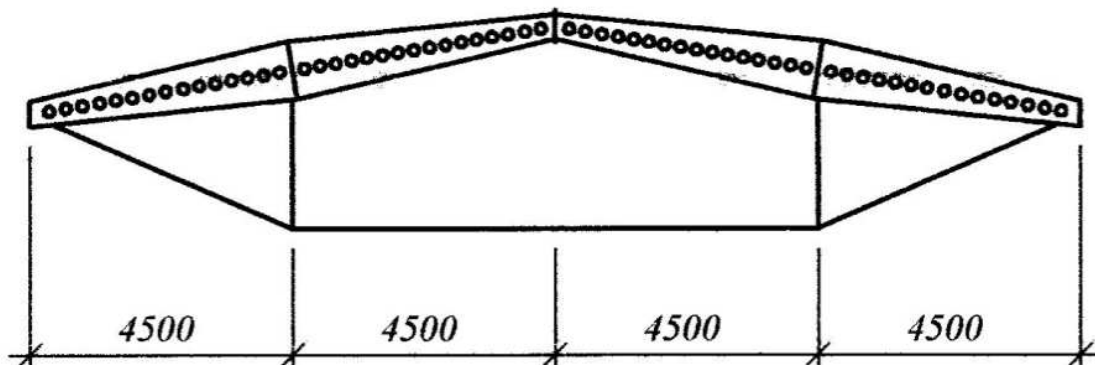


Рис. 8. Запропоноване конструктивне рішення верхнього поясу ферми

1. Налєпа О.І., Чернолоз 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.

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

2. 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 lehkymu stalnymu. - Stroytelstvo y arkhitektura, 1984, №2, s. 17-19.