**Міністерство освіти і науки України**

**Донбаська державна машинобудівна академія**

**Методичні вказівки  
до практичних занять та самостійної роботи**

**з дисципліни  
«Проектування металевих конструкції ПТБіДМ»**

**для студентів спеціальності 6.05050309**

(очної та заочної форми навчання)

|  |
| --- |
| Методичні вказівки рекомендовано до подальшого використання в учбовому процесі.  Протокол метод. ради ІЕФ  №10 від 04.06.12 р. |

**Краматорськ 2011**УДК 621.87

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Будівельна механіка і металеві конструкції ПТБіДМ» для студентів спеціальності 6.05050308/Уклад.: В.О.Койнаш. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 56с.

Наведено приклади рішення у загальному вигляді конкретних завдань стосовно металевих конструкцій ПТМ, а також стислі відомості з теоретичних розділів, на підставі яких отримані рішення. За кожним розділом надані завдання для індивідуального рішення студентами на практичних заняттях під керівництвом викладачів, а також завдання для самостійного рішення під час вивченні розділів курсу. Значну увагу приділяється використанню при розрахунках ЄОМ, зокрема методу скінченних елементів

Укладачі: В.О.Койнаш

Відповідальний за випуск В.Г.Крупко, доц.

**ЗМІСТ**

[ВСТУП 5](#_Toc216062277)

[1 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ У СТРИЖНЯХ ПЛОСКИХ ФЕРМ ПРИ ДІЇ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА МЕТОДОМ ЛІНІЙ ВПЛИВУ 6](#_Toc216062278)

[1.1 Стислі відомості про метод ліній впливу 6](#_Toc216062279)

[1.2 Приклад побудови ліній впливу зусиль у стрижнях плоскої 7](#_Toc216062280)

[ферми 7](#_Toc216062281)

[1.3 Приклади визначення розрахункових зусиль у стрижнях 12](#_Toc216062282)

[ферми від фактичних навантажень за лініями впливу 12](#_Toc216062283)

[2 ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ФЕРМ 16](#_Toc216062284)

[2.1 Загальна послідовність дій при проектуванні ферм 16](#_Toc216062285)

[2.2 Визначення геометричної схеми ферми 16](#_Toc216062286)

[2.3 Вибір генеральних розмірів ферми 16](#_Toc216062287)

[2.4 Вибір числа й довжини панелей 17](#_Toc216062288)

[2.5 Визначення зусиль у стрижнях 17](#_Toc216062289)

[2.6 Підбір перетину стрижнів 18](#_Toc216062290)

[2.7 Конструювання поперечних перерізів стрижнів 19](#_Toc216062291)

[2.8 Особливості конструктивного виконання здвоєних стрижнів 20](#_Toc216062292)

[2.9 Проектування вузлів ферм 21](#_Toc216062293)

[2.9.1 Загальні вимоги до вузлів ферм 21](#_Toc216062294)

[2.9.2 Конструктивне виконання вузлів 22](#_Toc216062295)

[2.9.3 Конструювання вузлових фасонок 23](#_Toc216062296)

[2.10 Виконання перевірочних розрахунків 24](#_Toc216062297)

[2.11 Варіанти індивідуальних завдань 25](#_Toc216062298)

[3 ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОЛОВНИХ БАЛОК МОСТОВИХ КРАНІВ 27](#_Toc216062299)

[3.1 Обґрунтування загальної схеми металоконструкції 27](#_Toc216062300)

[3.2 Визначення основних конструкційних параметрів крана 28](#_Toc216062301)

[3.3 Вибір методу розрахунку 33](#_Toc216062302)

[3.4 Вибір матеріалу для несучих і допоміжних елементів, визначення припустимих розрахункових опорів і напруг 34](#_Toc216062303)

[3.6 Визначення внутрішніх силових факторів 43](#_Toc216062304)

[3.7 Розрахунок розмірів поперечного переріза головної балки 46](#_Toc216062305)

[3.8 Варіанти індивідуальних завдань 51](#_Toc216062306)

[4 РОЗРАХУНОК СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ НА ЕОМ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (МСЕ) 53](#_Toc216062307)

[4.1 Загальні відомості про МСЕ та його застосування 53](#_Toc216062308)

[у сучасній інженерній практиці 53](#_Toc216062309)

[4.2 Приклад підготовки вихідних даних для розрахунку 55](#_Toc216062310)

[підкранової естакади у програмі Mav.Structure 55](#_Toc216062311)

[4.2.1 Постановка завдання та вихідні дані для розрахунку 55](#_Toc216062312)

[4.2.2 Послідовність дій при підготовки вихідних даних 56](#_Toc216062313)

[4.3 Підготовка файла вихідних даних 60](#_Toc216062314)

[4.4 Отримання результатів розрахунку 61](#_Toc216062315)

[4.5 Варіанти індивідуальних завдань на розрахунок 62](#_Toc216062316)

[металоконструкцій за допомогою МСЕ 62](#_Toc216062317)

[ЛІТЕРАТУРА 64](#_Toc216062318)

[ДОДАТКИ 65](#_Toc216062319)

[Додаток А 65](#_Toc216062320)

[Додаток Б 69](#_Toc216062321)

[Додаток В 72](#_Toc216062322)

ВСТУП

Дисципліна «Проектування металевих конструкцій ПТБіДМ» належить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін і вивчає методи розрахунку та проектування металевих конструкцій, які застосовуються в підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх та меліоративних машинах (ПТБ і ДМ). У цих машинах металева конструкція складає кістяк машини, на якому змонтовано механізми, тому для майбутніх фахівців спеціальності 8.090214 «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини й обладнання» (ПТБ і ДМ) ця дисципліна є однією з найважливіших. Вона базується на знаннях, отриманих студентами при вивчанні дисциплін загальноосвітнього та загально-інженерного циклу, таких як: вища математика, фізика, теоретична механіка, опір матеріалів, технологія конструкційних матеріалів, деталі машин та дисципліни спеціального напрямку – вантажопідйомні машини. У свою чергу знання даної дисципліни застосовуються і подалі при вивчанні дисциплін спеціального циклу, а також при курсовому й дипломному проектуванні.

Проектування надійних та економічних машин, здатних конкурувати на мировому ринку потребує від інженера використання сучасних методів розрахунку з використанням ЄОМ та чисельних методів, серед яких провідне розповсюдження отримав метод скінченних елементів (МСЕ). В зв’язку з цим особливу увагу приділяється як самій теорії МСЕ, так і практичній реалізації з використанням сучасних програмних засобів.

1 ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЬ У СТРИЖНЯХ ПЛОСКИХ ФЕРМ ПРИ ДІЇ РУХОМОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА МЕТОДОМ ЛІНІЙ ВПЛИВУ

1.1 Стислі відомості про метод ліній впливу

Дії рухомого навантаження підпадають залізничні і кранові мости, підкранові балки й інші спорудження. Рухоме навантаження являє собою систему паралельних зосереджених сил, відстань між якими залишається незмінною. Таке навантаження в будівельній механіці називають поїздом.

При переміщенні поїзда вздовж спорудження постійно змінюються опорні реакції, внутрішні зусилля в елементах, а також їх деформації. Правильний розрахунок спорудження на міцність, твердість і стійкість стає можливим лише тоді, коли відомий закон зміни зусиль і деформацій.

Для з'ясування цього закону на першому етапі розрахунку не враховують величину і кількість рухливих сил, а також відстані між ними, заміняючи фактичне рухоме навантаження рухливим непомірним одиничним вантажем. При цьому визначають величину фактору, який треба з’ясувати, як функцію розташування одиничного вантажу на спорудженні. Графік, що виражає цю функцію, у будівельній механіці називають лінією впливу.

Якщо такий графік побудований, то подальший розрахунок з визначення невідомого фактору від дії будь-якої системи зосереджених рухливих і нерухомих сил стає виключно простим завдяки використанню принципу суперпозиції (незалежність дії сил). Наприклад, якщо на спорудження діють зосереджені сили *Р1*, *Р2*, …, *Pi*, …, *Pn*, то невідомий фактор *Х* (опорна реакція, осьова або поперечна сила, крутний момент, прогин або кут повороту та ін.) буде дорівнювати сумі добутків значень цих сил на відповідні їм ординати ліній впливу:

,

тобто

. (2.1)

Слід зазначити, що метод ліній впливу дозволяє визначити розрахункові положення системи рухомих навантажень (поїзда) на спорудженні. Розрахунковим називається таке положення рухомого навантаження, при якому фактор, який треба визначити, має найбільш несприятливе значення для міцності, твердості або стійкості спорудження або його елемента. При цьому, якщо лінія впливу має трикутний обрис, то в розрахунковому положенні системи зв'язаних рухливих зосереджених сил одна із сил обов'язково має бути над вершиною лінії впливу. Ця сила називається критичною.

Якщо спорудження навантажене рівномірно розподіленим вантажем, то величина фактору, який треба визначити, дорівнює добутку інтенсивного навантаження на площу, окреслену лінією впливу:

. (2.2)

1.2 Приклад побудови ліній впливу зусиль у стрижнях плоскої

ферми

Нехай треба визначити зусилля в стрижнях ферми мостового крана, розрахункова схема якої показана на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Визначення впливу зусиль у стрижнях ферми мостового крана

Спочатку будуємо лінії впливу опорних реакцій як для простої двоопорної балки.

Лінії впливу зусиль у стрижнях будуємо за загальними правилами побудови ліній впливу, тобто спочатку виводимо аналітичний вираз для зусилля, яке треба визначити, а потім за ним будуємо графік. Оскільки аналітичні вирази для зусиль у стрижнях являють собою лінійні функції, то для побудови графіків досить обчислити ординати двох будь-яких точок.

Для одержання аналітичного виразу найкраще застосувати метод наскрізних перетинів.

Нехай потрібно вивести аналітичний вираз для зусилля в стрижні верхнього поясу *N8-9* (див. рис. 2.1). Тоді проводимо перетин 1-1 й, відкинувши одну частину ферми (де більше сил), до частини, що залишилася, прикладемо розтягуючи сили у розрізаних стрижнях. При цьому бачимо, що для стрижня 8-9 є моментна точка, що збігається з вузлом 7, оскільки в цьому вузлі перетинаються геометричні осі двох інших стрижнів 5-6 і 8-7, що потрапили в перетин 1-1, зусилля в яких в цей момент не визначаються. Розглянемо два положення одиничної сили: праворуч і ліворуч від розрізаної панелі.

Якщо одинична сила перебуває праворуч від розрізаної панелі, то рівняння суми моментів відносно моментної точки для лівої відсіченої частини буде виглядати таким чином:

,

звідки

. (2.3)

Якщо одинична сила перебуває ліворуч від розрізаної панелі, то рівняння суми моментів для правої відсіченої частини буде виглядати таким чином:

,

звідки

. (2.4)

З отриманих аналітичних виразів для зусилля в стрижні 8-9 виходить, що це зусилля дорівнює добутку змінної опорної реакції (*А* або *В*) на постійний множник 4*a/h*. Оскільки опорні реакції визначаються лінійними функціями координати одиничного вантажу, то лінія впливу зусилля *N8-9*, яку треба визначити буде складатися із двох пересічних прямих, причому пряма, побудована за аналітичним виразом (2, 3), дійсна при знаходженні одиничної сили праворуч від розрізаної панелі, а пряма, побудована за виразом (2.4) – ліворуч від неї. У межах розрізаної панелі лінія впливу являє собою перехідну пряму, що з'єднує крайні ординати.

Для побудови лінії впливу в стрижні нижнього поясу скористаємося тим же перетином 1-1. Точка Риттера тепер буде знаходитися у вузлі 8. При одиничній силі праворуч маємо

,

звідки  (стрижень розтягнутий).

При одиничній силі ліворуч від розрізаної панелі маємо

,

звідки  (стрижень розтягнуть)

Слід зазначити, що як для *N8-9*, так і для *N5-7* права і ліва частини ліній впливи перетинаються за точками Риттера. Це не є випадковим і виходить з побудови. Дійсно, при побудові ліній впливу були проведені дві прямі (див. рис. 2.2), з яких права має тангенс кута підйому , а ліва , де *а* і *b* – відстані від точки Риттера до кінців ферми.



Рисунок 2.2 – Особливість ліній впливу зусиль у паралельних поясних стрижнях

Визначимо ординати під точкою Риттера для правої і лівої гілок лінії впливу

;

.

Виходить, *hm=hmn=hnλ* є загальною ординатою і перебуває під моментною точкою.

Перейдемо до побудови лінії впливу зусилля в розкосі *N8-7*   
(див. рис. 2.1). Для цього стрижня моментна точка відсутня або, точніше, перебуває в нескінченності. Тому умову рівноваги запишемо як суму проекцій на вертикальну вісь.

При знаходженні одиничної сили праворуч від розрізаної панелі умова рівноваги лівої відсіченої частини

,

звідки  (стрижень розтягнутий).

При знаходженні одиничної сили ліворуч від розрізаної панелі умова рівноваги правої відсіченої частини

,

звідки  (стрижень стиснутий).

У межах розрізаної панелі з'єднуємо крайні ординати перехідної прямої.

Для розкосів 4-5 і 1-4 моментною точкою буде точка перетинання осей стрижнів 2-4 і 1-3, тобто точка «О».

Побудуємо лінію впливу для зусилля в розкосі *N4-5*, використовуючи наскрізний перетин 2-2.

При одиничній силі праворуч

,

звідки  (стрижень розтягнутий).

При одиничній силі ліворуч

,

звідки  (стрижень стиснутий).

У цьому випадку другого рівняння можна було б не складати, а провести пряму через точки *n* і *m*. Точка *m* перебуває під точкою Риттера.

Щоб побудувати лінію впливу зусилля у стійці 6-5, розглянемо прилягаючі до неї стрижні верхнього поясу 4-6 і 6-8 як балки, що опираються на вузли 4, 6, 8. Зусилля в стійці, яке треба визначити, буде дорівнювати реакції балки у вузлі 6. Таким чином, зусилля в стійці *N6-5* з'являється тільки тоді, коли одинична сила переміщається в межах двох верхніх панелей, що примикають до стійки 6-5. Якщо одинична сила перебуває над стійкою, то зусилля *N6-5*= –1. У межах сусідніх панелей зусилля міняється за лінійним законом. Аналогічно будуються лінії впливу для інших стійок, крім стійок 3-4 і 13-14, які є нульовими стрижнями (див. рис. 1.2).

1.3 Приклади визначення розрахункових зусиль у стрижнях

ферми від фактичних навантажень за лініями впливу

Припустимо ферма навантажена: двома зв'язаними рухливими силами – *Р1* і *Р2* (*Р1*>*P2*), нерухомими зосередженими силами *Р3*, *Р4* і рівномірно розподіленим навантаженням за всією довжиною інтенсивністю *q*. У цьому випадку розрахунковими зусиллями в стрижнях повинні бути максимальні зусилля, які виникають при відповідних положеннях рухомого навантаження. Ці положення називаються розрахунковими і визначаються за певними правилами або шляхом послідовної установки кожної рухливої сили над вершиною лінії впливу. При цьому для стрижнів, у яких зусилля міняє знак (у цьому випадку в розкосах), необхідно розглядати два розрахункових положення: положення, при якому стискаюча сила є максимальною, та положення, при якому розтягуюча сила є максимальною. Встановлення рухомого навантаження в розрахункове положення разом з додаванням всіх нерухомих навантажень називається в будівельній механіці завантаженням лінії впливу.

Визначимо розрахункове зусилля в поясному стрижні 8-9 (див. рис. 2.1). для цього скористаємося формулами (2.1) і (2.2):

,

де ординати лінії впливу *Y1*, …*Y4* і площа *ω8-9* визначається шляхом геометричних розрахунків

;

;

;

;

.

Аналогічно визначаються розрахункові зусилля в інших стрижнях. Слід зазначити, що площа ліній впливу для розкосів визначається окремо для позитивної і негативної гілок і потім підсумовується алгебраїчно.

Варіанти індивідуальних завдань на побудову ліній впливу і визначення розрахункових зусиль у стрижнях пласкої ферми дані в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Варіанти індивідуальних завдань на побудову ліній

впливу і визначення розрахункових зусиль у стрижнях

пласкої ферми

| **Варіант** | **Номер схеми** | ***d*, м** | ***b*, м** | **Рухоме навантаження** | | **Нерухоме зосереджене навантаження, кН**  **номери вузлів докладання** | | | | **Розподілене навантаження *q,* кН/м** | **Номер стрижня для визначення зусилля** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Р1*** | ***Р2*** | ***Р3*** | **№** | ***Р4*** | **№** |
|  | 1 | 2,5 | 2,0 | 15 | 10 | 5,0 | 3 | 6,0 | 11 | 0,5 | 4-5  5-6  5-7 |
|  | 3 | 1,6 | 1,0 | 23 | 18 | 7,0 | 3 | 5,0 | 9 | 0,3 | 2-3  2-4  1-3 |
|  | 2 | 2,0 | 1,0 | 30 | 25 | 10 | 3 | 8,0 | 11 | 0,1 | 4-6  5-6  5-7 |
|  | 4 | 1,5 | 1,0 | 20 | 16 | 6,0 | 9 | 4,0 | 6 | 0,2 | 6-8  7-10  8-7 |
|  | 5 | 1,2 | 0,8 | 10 | 8 | 3,0 | 3 | 2,0 | 9 | 0,9 | 4-6  4-7  5-7 |
|  | 7 | 3,0 | 2,0 | 16 | 14 | 5,0 | 3 | 3,5 | 11 | 0,6 | 2-4  2-3  1-3 |
|  | 1 | 3,5 | 2,2 | 32 | 28 | 6,5 | 11 | 5,4 | 13 | 0,7 | 6-8  7-8  7-9 |
|  | 9 | 1,0 | 0,5 | 22 | 20 | 7,2 | 3 | 6,1 | 4 | 0,4 | 2-4  2-3  1-3 |

Продовження таблиці 1.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 4 | 1,4 | 0,7 | 40 | 35 | 11 | 7 | 8,5 | 9 | 0,5 | 3-5  4-6  4-5 |
|  | 7 | 1,5 | 1,0 | 42 | 38 | 14 | 8 | 12 | 11 | 0,2 | 3-5  3-6  5-6 |
|  | 5 | 2,0 | 1,4 | 15 | 12 | 5,0 | 3 | 4,5 | 9 | 0,9 | 1-2  1-3  2-3 |
|  | 9 | 1,8 | 1,2 | 12 | 8 | 4,0 | 2 | 3,5 | 3 | 0,3 | 3-4  2-3  1-2 |
|  | 2 | 1,5 | 1,0 | 35 | 30 | 5,5 | 5 | 4,6 | 7 | 0,8 | 2-4  2-3  1-3 |
|  | 3 | 1,8 | 1,3 | 45 | 40 | 15 | 5 | 13 | 9 | 0,9 | 3-4  3-5  4-6 |
|  | 1 | 3,0 | 1,5 | 50 | 45 | 16 | 5 | 14 | 7 | 1,0 | 2-4  2-3  1-3 |
|  | 8 | 2,0 | 1,0 | 60 | 44 | 20 | 8 | 15 | 10 | 1,1 | 4-5  3-4  3-5 |
|  | 2 | 3,5 | 2,0 | 55 | 50 | 17 | 3 | 14 | 5 | 1,2 | 3-5  4-5  4-6 |
|  | 4 | 3,0 | 1,4 | 48 | 44 | 16 | 5 | 10 | 7 | 0,4 | 5-6  5-7  4-6 |
|  | 7 | 2,1 | 1,6 | 65 | 57 | 22 | 7 | 19 | 9 | 0,6 | 5-6  6-7  6-8 |
|  | 3 | 2,5 | 1,8 | 58 | 56 | 21 | 3 | 17 | 5 | 0,9 | 1-1  1-3  2-3 |
|  | 1 | 6,0 | 3,0 | 29 | 25 | 10 | 9 | 8 | 11 | 0,1 | 6-8  7-8  7-9 |
|  | 5 | 5,0 | 2,0 | 36 | 31 | 12 | 3 | 10 | 7 | 0,3 | 2-4  3-5  2-5 |
|  | 4 | 4,0 | 2,0 | 47 | 42 | 17 | 3 | 16 | 5 | 0,9 | 10-12  9-10  7-9 |
|  | 8 | 2,0 | 1,0 | 52 | 48 | 14 | 2 | 12 | 4 | 1,3 | 3-5  4-6  4-5 |
|  | 6 | 1,2 | 0,6 | 62 | 56 | 23 | 3 | 19 | 11 | 1,5 | 6-8  5-8  5-7 |
|  | 6 | 2,0 | 1,2 | 70 | 64 | 20 | 5 | 15 | 9 | 2,0 | 8-10  8-9  9-9 | |

2 ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ФЕРМ

2.1 Загальна послідовність дій при проектуванні ферм

Практикою проектування ферм рекомендуються наступні основні етапи:

1 Розробка геометричної схеми ферми.

2 Визначення генеральних розмірів і основних конструктивних параметрів ферм.

3 Визначення зусиль у стрижнях ферми.

4 Підбор і конструювання перетинів стрижнів ферми.

5 Конструювання вузлів (місць з'єднань кінців стрижнів).

6 Виконання перевірочних розрахунків і коректування спочатку прийнятих розмірів перетинів стрижнів.

2.2 Визначення геометричної схеми ферми

Тип ґрат і обрис поясів призначаються з урахуванням двох основних факторів:

1 Зусилля по стрижнях ферми повинні бути розподілені як можна рівномірно.

2 Ферма повинна містити мінімум стислих стрижнів.

2.3 Вибір генеральних розмірів ферми

Довжина ферми, як правило, визначається конструкцією машини: проліт, виліт або довжина стріли.

Тип ґрат вибирається з такого розрахунку, щоб було якнайменше стислих стрижнів.

Висота ферми балкового типу приймається рівної:

,

з умови мінімальної маси ферми. Дослідження показують, що зі збільшенням висоти ферми зменшується зусилля в поясах, але зростають у розкосах, а тому з ростом висоти маса поясів зменшується, а маса розкосів зростає. І, навпаки, зі зменшенням висоти зростає маса поясів і зменшується маса розкосів. Із цієї причини існує деяка оптимальна висота, при якій маса ферми мінімальна.



Рисунок 2.1 - Вибір оптимальної висоти ферми

Для консольних ферм висоту опорного перетину вибирають зі співвідношення:

.

2.4 Вибір числа й довжини панелей

Число панелей і їхня довжина призначаються з урахуванням двох вимог:

1 Число панелей завжди повинне бути парним.

2 Довжина панелей повинна бути такий, щоб кут нахилу розкосів повинен бути дорівнює або близький к.

Тому спочатку довжину панелі приймають рівній висоті ферми:

,

і визначають у першому наближенні число панелей:

.

Це число округляють до парного. Після цього заново визначають довжину панелей. При цьому середні панелі повинні бути однаковими і їхньою довжиною округляється до кращих чисел (0 або 5), а коректування відповідно до довжини прольоту виконується за рахунок довжин крайніх панелей.

.

Після цього етапу вичерчують остаточну однолінійну геометричну схему ферми з усіма основними розмірами.

2.5 Визначення зусиль у стрижнях

Зусилля в стрижнях ферми визначаються раніше розглянутими нами методами будівельної механіки. При наявності рухомого навантаження обов'язково використовується метод лінії впливу. Кінцевою метою розрахунку зусилля є визначення максимального зусилля для кожного типу стрижнів (верхнього, нижнього пояса, розкосів і стійок).

2.6 Підбір перетину стрижнів

Насамперед, визначають необхідні площі перетинів кожного типу стрижнів по формулах:

 – метод граничних станів;

 – метод допустимих напружень,

де *Ni* – розрахункове зусилля у стрижні;

 - допустимі напруження;

 - коефіцієнт поздовжнього вигину;

*m0* – коефіцієнт умови роботи;

*RP* - розрахунковий опір матеріалу стрижня.

Коефіцієнт поздовжнього вигину - , визначається за таблицею залежно від гнучкості стрижня .

Гнучкість стрижня  визначається як відношення наведеної довжини стрижня до мінімального радіуса поперечного переріза стрижня, де  - коефіцієнт, що враховує закріплення кінців стрижнів, у запас надійності розрахунку можна прийняти =1:

,

де *μ*=1 - як для шарнірного закріплення;

*l* - фактична довжина стрижня, тобто відстань між центрами вузлів, які з'єднують стрижні;

*rmin* – мінімальний радіус інерції перетину стрижня. Він визначається по формулі:

.

Таким чином, для визначення радіуса інерції необхідно знати мінімальний момент інерції й площа перетину, які на даному етапі не можуть бути визначені через відсутність розмірів елементів перетину. З положення, що створилося, виходять шляхом прийняття первісної гнучкості стрижня рівної граничної припустимої, котра визначається по таблиці.

*Таблиця 2.1 – Таблиця граничної гнучкості стрижнів ферм:*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Типи стрижнів | Стислі | Розтягнуті |
| Пояса головних ферм | 120 | 150 |
| Одиночні стрижневі конструкції | 120...…150 | 150...…180 |
| Ґрати головних ферм і пояса допоміжних | 150 | 200...…250 |
| Інші стрижні | 200...…250 | 250...…350 |

2.7 Конструювання поперечних перерізів стрижнів

Насамперед, необхідно визначитися з формою поперечного переріза для кожного типу стрижнів (поясів, розкосів, стійок). Якщо виходити з оптимального використання металу стрижня, то найбільш раціональним є трубчастий перетин. Це обумовлено рівністю моменту інерції в трубчастого перетину щодо будь-якої осі, що проходить через центр ваги. Однак труба має 2 недоліки:

1 Труби в основному виготовляються зі сталі 20.

2 Необхідність спеціальної обробки кінців стрижнів для з'єднання у вузлах.

Одиночні профілі (крім труби) у навантажених фермах застосовувати не слід, тому що в них неможливо забезпечити додаток навантаження строго по нейтральності стрижня, тобто будемо мати завжди позацентрове розтягання - стиску. Тому для стрижнів навантажених ферм застосовують тільки здвоєні прокатні профілі.

Для поясних стрижнів рекомендуються такі форми поперечних перерізів:

для верхнього поясу:



для нижнього поясу:



для розкосів і стійок рекомендується труба, здвоєні швелери, здвоєні куточки:



2.8 Особливості конструктивного виконання здвоєних стрижнів

Для забезпечення спільної роботи двох профілів, які входять в один перетин, їх з'єднують між собою за допомогою додаткових спеціальних вставок (перемичок).



*Рисунок 2.2 - З'єднання двох профілів сполучними планками*

Розміри перемичок вибираються в цілому з конструктивних співвідношень, однак виступаюча частина (розмір с) повинна бути на 3 - 4мм більше катети шва. Товщину перемичок варто приймати рівній або близькій товщині полиці профілю. Відстань між планками призначається з наступних співвідношень:

 - для стислих стрижнів;

 - для розтягнутих стрижнів,

де r - мінімальний радіус інерції одного профілю щодо власної осі.

2.9 Проектування вузлів ферм

2.9.1 Загальні вимоги до вузлів ферм

Під вузлами тут розуміються місця з'єднання поясних стрижнів зі стрижнями ґрат. Практика проектування й експлуатації зварених ферм показує, що вузли повинні відповідати таким вимогам:

1 Вимога центрування стрижнів. Нейтральні осі стрижнів, що сходяться у вузлі, повинні перетинатися в одній точці.



*а) б)*

*Рисунок 2.3 - Центрування стрижнів: а) - правильна, б) - не правильна*

2 Не допускається скупченість зварених швів у вузлі щоб уникнути шкідливого впливу зварювання. Тому мінімальна відстань між звареними вузлами у вузлі повинне бути не менш 40 - 50мм.



*Рисунок 2.4 – Мінімальна відстань між звареними швами*

3 Нейтральні осі стрижнів повинні збігатися з лініями центра ваги зварених швів, за допомогою яких ці стрижні прикріплені.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
| *Рисунок 2.5 – Розташування нейтральних осей: а) – не правильне; б - правильне* | |

У випадку на мал. 2.5 а) виникає додатковий згинальний момент, що діє на вузол . Щоб уникнути цього куточки приварюють звареними швами різної довжини з боку обушка й пера. Ексцентриситет , якщо виконується співвідношення

.

Наприклад, для рівнобоких куточків довжини зварених швів визначаються з умов

,

.

2.9.2 Конструктивне виконання вузлів

Конструктивно вузли можуть бути двох типів:

1) безфасоночні;

2) вузли на фасонках або вставках.

У безфасоночних вузлах стрижні ґрати приєднані до поясних стрижнів безпосередньо без усяких проміжних елементів.



*Рисунок 2.6 – - Приклад безфасоночного вузла*

Вузли такої конструкції відрізняються простотою, однак мають ряд недоліків, а саме:

1 У багатьох випадках, у таких вузлах неможливо забезпечити центрування стрижнів.

2 Важко виключити скупченість зварених швів.

3 При трубчастих стрижнях необхідно фасонна механічна обробка торців стрижнів, що приєднуються.

Внаслідок цих недоліків безфасоночні вузли, в основному, застосовуються в малонавантажених допоміжних фермах.

У вузлах на фасонках або вставках стрижні ґрати приєднуються до поясних стрижнів за допомогою проміжних елементів, фасонок або вставок. У таких вузлах легко забезпечити всі вимоги, пропоновані до вузлів ферм.



*Рисунок 2.7 - Приклад вузла на фасонках*

2.9.3 Конструювання вузлових фасонок

Форма фасонки повинна бути як можна простіше (прямокутник, трапеція). Довжина й висота фасонки призначається з умови розміщення потрібної довжини зварених швів, а також реалізації вимоги недопущення скупченості зварених швів (вимога забезпечення мінімальної відстані між звареними швами 40...50мм).

Товщина вузловий фасонки приймається за рекомендацією практики залежно від найбільшого зусилля в розкосі, що перебуває в даному вузлі, по таблиці.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Зусилля в розкосі, кН | До  200 | 200 - 500 | 500 - 750 | 750 - 1100 | 1100 - 1600 | 1600 – 2000 | Понад  2000 |
| Товщина  tp,мм | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |

Бічна крайка фасонки повинна бути нахилена до осі стрижня не менш чим 150. Для запобігання підгоряння крайок фасонки при зварюванні необхідно забезпечити довжину крайки не менш 15 мм (мал. 2.25)



*Рисунок 2.8 - Оформлення вузлових фасонок*

2.10 Виконання перевірочних розрахунків

Розтягнуті стрижні перевіряються на міцність по формулах:

 (метод граничних станів);

 (метод додаткових напруг)

де NP - розрахункове зусилля стрижня;

Nmax - максимальне зусилля в стрижні;

Fн.т. - площа перетину.

Стислі стрижні перевіряються на стійкість, якщо гнучкість стрижня:

, те перевірка ведеться по формулі Эйлера:

,

де l - довжина стрижня між двома центрами вузлів, що з'єднуються;

,

де r - радіус інерції:

.

Якщо гнучкість стрижня <100, то розрахунок ведеться шляхом введення коефіцієнта поздовжнього вигину ?, по формулах:

 (метод граничних станів);

 (метод додаткових напруг).

У цих формулах для визначення  обчислюються фактичні значення . Якщо виявиться, що  фактичне більше раніше прийнятого, то перетин залишають без коректування. Якщо фактичне значення виявилося менше раніше прийнятого, то умова перевірки може не виконуватися й для його виконання необхідно скорегувати перетин убік посилення.

Крім того, всі стрижні перевіряються по припустимій гнучкості:

,

де - приймається по таблиці.

2.11 Варіанти індивідуальних завдань

Варіанти індивідуальних завдань містяться у таблиці 1.1. Навантаження стрижні беруться за результатами вирішення завдань по 1 пункту.

**Завдання**:

1 Для стрижнів будь-якого вузла, що містить не менш трьох стрижнів, підібрати номера прокатних елементів. Для всіх стрижнів приймати наступний профіль поперечного переріза:

Парні варіанти - спарені швелера (рис 2.8, а)

Непарні варіанти - нерівнобокі куточки (рис. 2.8, б)

а) б)

*Рисунок 2.8 – Профілі поперечного переріза стрижнів*

2 Розрахувати зварені шви з'єднання стійок і розкосів і спроектувати болтове з'єднання для поясних стрижнів.

3 Вичертити в масштабі конструктивне оформлення вузла

3 ВИБІР ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ГОЛОВНИХ БАЛОК МОСТОВИХ КРАНІВ

3.1 Обґрунтування загальної схеми металоконструкції

Металеві конструкції кранів – це мости й рами візків. Міст вантажопідйомного крана загального призначення складається із пролітних і кінцевих балок коробчатого перетину.

Основними елементами мостового крана є головна й кінцева балки. Головна балка мостового крана приймає основне навантаження. На ній розташовані рейки, по яких пересувається вантажний візок. Оскільки на візок діє основне навантаження від ваги вантажу, головна балка є основним навантаженим елементом металоконструкції мостового крана, на ній розташовуються також оглядова площадка й кабіна машиніста.

На кінцевій балці кріпляться букси й ходові колеса. Вона виконує функцію опори головних балок.

Схема металоконструкції двобалкового мостового крана загального призначення показана на рисунку 3.1.





Рисунок 3.1 – Конструктивна схема двобалкового мосту вантажопідйомного крана

3.2 Визначення основних конструкційних параметрів крана

Під вибором основних конструктивних параметрів розуміється визначення основних орієнтовних розмірів металоконструкції, які призначаються за рекомендацією з досвіду попереднього проектування   
[1, с. 91...196; 2, с. 363...395; 3, с. 298...306; 4, с. 205...218].

Визначаємо базу крана

,

де Lк – проліт крана, .

Беремо базу крана .

Колія візка

.

Беремо .

Базу візка приймаємо виходячи із співвідношення

.

Беремо BТ = 4000 мм.

Висота перетину головної балки береться, виходячи із співвідношення



Береться .

Відстань між стінками беремо зі співвідношень:

; .

Беремо відстань між стінками b=0,7 м.

Товщину вертикальних листів головної й кінцевої балок беремо, виходячи з вантажопідйомності (табл. 4.3.): при , . При виборі товщини листа, її варто брати з можливих стандартних значень.

Товщину поясів головної балки беремо залежно від товщини вертикальних стінок



Беремо .

Висота перетину кінцевої балки



Беремо .

Ширина кінцевої балки



Беремо .

На кінцях головних балок для зручності їхнього приєднання до кінцевих балок, рекомендовано робити скоси, розмір яких рекомендують призначати, виходячи із співвідношення



У даному випадку приймаємо С = 2000 мм.

Схема мосту крана з попередньо визначеними конструкційними параметрами показана на рисунку 3.2.

Рисунок 3.2 – Схема мосту крану з попередньо визначеними конструктивними параметрами.

Визначимо геометричні характеристики перетину головної й кінцевої балок.

Момент інерції головної балки відносно осі *х-х:*



Момент інерції головної балки відносно осі *y-y:*



Момент опору перетину головної балки відносно осі *х-х:*

.

Момент опору перетину головної балки відносно осі *y-y:*

.

Площа поперечного перерізу головної балки в середині прольоту:



Момент інерції кінцевої балки відносно осі *х-х:*



Момент інерції кінцевої балки відносно осі *y-y:*



Момент опору перетину кінцевої балки відносно осі *х-х:*

.

Момент опору перетину кінцевої балки відносно осі *y-y:*

.

Площа поперечного перерізу кінцевої балки:



3.3 Вибір методу розрахунку

Одним з найважливіших етапів у проектуванні будь-якої машини є вибір методу розрахунків. Обраний метод повинен не тільки забезпечити міцність, надійність і безпеку експлуатації виробу, але й забезпечити мінімальну металоємність, а, отже, і вартість. Тепер, найбільш сучасним і прогресивним є метод граничних станів.

Переваги методу граничних станів над методом припустимих напруг:

1. Кожен вид навантаження вводиться зі своїм коефіцієнтом перевантаження, чим точніше визначено навантаження, тим менше цей коефіцієнт.
2. Виключається суб'єктивізм при виборі запасів міцності.
3. Дозволяє виконати імовірнісний розрахунок досягнення елементом граничного стану.

Розрізняють два види граничних станів: перший граничний стан – за несучою здатністю; другий граничний стан – за деформацією або місцевими ушкодженнями.

Завдання розрахунку металоконструкції за цим методом полягає в тому, щоб протягом всього терміну служби в ній не виникли ні перший, ані другий граничний стан.

Критеріальна умова відсутності граничного стану має вигляд

,

де N – розрахункове зусилля в елементі конструкції;

Ф – несуча здатність елемента.

Розрахункове зусилля визначається за формулою

,

де PНІ – нормативне навантаження, що діє на конструкцію;

nІ – коефіцієнт, що вводиться в розрахунок, перевантаження за I-го;

 – коефіцієнт передачі I-го нормативного навантаження на елемент, що розраховується.

Таким чином, розрахунок заздалегідь передбачає, що в реальному житті фактичне навантаження може перевищити нормативну, чим і забезпечується висока гарантія надійності.

Несуча здатність елемента визначається за формулою

,

де F – геометричний фактор перетину;

Rp – розрахунковий опір матеріалу конструкції;

– коефіцієнт умов роботи

,

де – коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності конструкції;

– коефіцієнт, що враховує можливе зменшення геометричних характеристик порівняно з закладеними в розрахунок;

– коефіцієнт, що враховує неточність розрахункових схем.

Визначимо коефіцієнт умов роботи  для нашого випадку   
[8, с. 111].

 – руйнування з попереджувальною ознакою (відмова елемента викликає безпосередню погрозу для життя людини).

 при наявності гарантованих даних про фактичні значення допусків на профілі елементів.

 для коробчастих пролітних балок при розташуванні підвізочної рейки в середині балки.

.

3.4 Вибір матеріалу для несучих і допоміжних елементів, визначення припустимих розрахункових опорів і напруг

Металеві конструкції вантажопідйомних кранів виготовляють переважно з маловуглецевих і низьколегованих сталей, що поставляються у вигляді прокату різних типів.

Вибір марки сталі, для несучих елементів вантажопідйомних кранів, здійснюють залежно від температурних умов, у яких буде експлуатуватися кран, і режиму роботи.

У цьому випадку мінімальна температура, при якій буде експлуатуватися машина – , а режим роботи – важкий. Виходячи із цього, беремо сталь 15ХСНД за матеріал для несучих елементів. Для допоміжних елементів вибираємо сталь ВСТ3СП5

Переваги низьколегованих сталей:

1. Не втрачають пластичності при низьких температурах.
2. Характеристики міцності вище в 1,5-2 рази, ніж у маловуглецевих сталей, що дозволяє проектувати полегшені металоконструкції.
3. Краще за маловуглецеві протистоять корозії, що особливо важливо для кранів, що працюють в агресивних середовищах або на відкритому повітрі.

Однак цим сталям властиві недоліки:

1. Погано працюють на витривалість;
2. Гірше працюють на стійкість;
3. Дорожчі.

У нашім випадку при важкому режимі роботи доводиться вибирати для несучих елементів низьколеговану сталь, тому що передбачається, що кран буде працювати при . При такій температурі маловуглецеві стали втрачають пластичність і стають тендітними.

Призначення стали 15ХСНД – елементи зварених металоконструкцій і різні деталі, до яких висуваються вимоги підвищеної міцності й корозійної стійкості з обмеженням маси і які працюють при температурі від –70 до 45°С.

Зварюваність – зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЕШС.

Вид поставок – сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТ 19281-73, ДСТ 2590-71, ДСТ 2591-71, ДСТ 8239-72, ДСТ 8240-72, ДСТ 6713-75, ДСТ 535-79. Лист товстий ДСТ 19282-73, ДСТ 19903-74, ДСТ 6713-75, ДСТ 14637-79. Лист тонкий ДСТ 17066-80, ДСТ19903,ДСТ 19904-74. Смуга ДСТ103,ДСТ 82-70, ДСТ6713,ДСТ 14637-79. Кування і ковані заготівки ДСТ1133.

Фізико-механічні властивості й хімічний склад сталі 15ХСНД наведені в таблицях Б.4.1 і Б.4.2.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості стали 15ХСНД

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Напружений стан основного металу | Розтягання, вигин |  | 290 |
| Зріз |  | 170 |
| Зминання торцевої поверхні (при наявності пригону) |  | 430 |
| Зминання місцеве – у циліндричних шарнірах при щільному торканні |  | 250 |
| Діаметральний стиск котків при вільному торканні |  | 13 |
| Напружений стан звареного з'єднання | Стиск |  | 290 |
| Розтягання:  автоматичне зварювання;  напівавтоматичне і ручне зварювання з фізичним контролем якості швів |  | 290 |
| Устик – напівавтоматичне і ручне зварювання при звичайних методах контролю |  | 250 |
| Зріз |  | 170 |
| Кутові шви (зріз) |  | 200 |

Таблиця 3.2 – Хімічний склад стали 15ХСНД

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сталь | C | P | S | Mn | Si | Cr | Ni | Cu | As | N |
| % | | | | | | | | | |
| 15ХСНД | 0, 12-0,18 | 0,035 | 0,040 | 0, 4-0,7 | 0, 4-0,7 | 0, 6-0,9 | 0, 3-0,6 | 0, 2-0,4 | 0,08 | 0,008 |

Для зварювання сталевих конструкцій електроди повинні відповідати вимогам ДСТ 9466-75 і ДСТ 9467-75. Відповідно до рекомендацій [9] вибираємо тип і марку електродів для ручного зварювання при розрахунковій температурі так –400С (РТМ 24.090.52-85):

* тип – Э60А
* марка – АНО-10

**3.5 Визначення навантажень і їхніх розрахункових сполучень**

Розрахункові навантаження металевих конструкцій при розрахунку за методом граничних станів наведені у таблиці 3.5.1.

Таблиця 3.5.1 – Розрахункові навантаження металевих конструкцій

за методом граничних станів

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид навантаження** | **Випадки навантаження** | | | | |
| **I** | | **I** | | **II** |
| **Комбінації навантажень** | | | | |
| **I a** | **I b** | **II a** | **II b** | **–** |
| Вага металевої конструкції крана з урахуванням коефіцієнтів поштовхів |  |  |  |  |  |
| Вага встаткування, нерухомо розташованого на металевій конструкції, з урахуванням коефіцієнтів поштовхів |  |  |  |  |  |
| Вага встаткування, що переміщається по металевій конструкції (візків і ін.), з урахуванням коефіцієнтів поштовхів |  |  |  |  |  |

Продовження таблиці 3.5.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вага вантажу (включаючи захват вантажу) з урахуванням динамічних коефіцієнтів  і коефіцієнтів поштовхів |  |  |  |  | – |
| Горизонтальні сили інерції мас крану (розгін або гальмування одного з механізмів) | – |  | – |  | – |
| Кут відхилення вантажного канатів від вертикалі | – |  | – |  | – |
| Навантаження від вітру на конструкцію | – | – |  |  |  |

Саме вагу мосту беремо рівномірно розподіленою по прольоту. Вагу пролітної частини мосту визначимо використовуючи усереднені графіки ([8], с. 117).



Рисунок 3.5.1 – Усереднений графік ваги пролітних частин двобалкових кранів режимних груп 4К, 5К.

При використанні легованих сталей вага знижується на 10...20%, також вага пролітних частин кранів режимних груп 6К-К-8К збільшується на 10...15%. Вага елементів, що не розраховуються, може становити 30...60% від загальної ваги пролітної частини мосту [8, с. 117].

Виходячи з вище сказаного, беремо вагу пролітних частин мосту крана  (тут 1,2 – коефіцієнт, враховуючий вагу частин, що не розраховуються – 20%).

Інтенсивність розподіленого навантаження від власної ваги пролітної частини мосту двобалкового мостового крана знаходимо за формулою

 ,

де  – проліт крана, ;

 – коефіцієнт перевантаження для ваги металевої конструкції,  [9, с. 166].

Вагу приводу механізму пересування крана визначимо за усередненими даними [8, с. 117], . З урахуванням коефіцієнта перевантаження

,

де  – коефіцієнт перевантаження для ваги механізму пересування,  [9, с. 166].

Оскільки кран працює на відкритому повітрі, кабіну вважаємо такою, що закрита. Відповідно до [8, с. 117] беремо усереднену вагу кабіни . З урахуванням коефіцієнта перевантаження

,

де  – коефіцієнт перевантаження для ваги кабіни,    
[9, с. 166];

Вагу візка беремо за усередненими даними [8, с. 117], .

Коефіцієнт поштовхів , що враховує вертикальні динамічні навантаження, які виникають через нерівність шляхів  [9, с. 69].

Для першого випадку навантаження коефіцієнт поштовхів визначається за формулою

.

Значення динамічних коефіцієнтів  і  визначають за формулою   
[9, с. 64]

При плавному пуску механізму:

.

При різкому пуску механізму:

,

де  – приведена до точки підвісу вантажу маса металевої конструкції крана й вантажного візка,

,

тут  – маса пролітної будови (без опор і кінцевих балок),

;

 – маса вантажного візка,

.

 – переміщення точки підвісу вантажу внаслідок статичного подовження канатів,

,

де  – довжина ділянок канату,  (H – висота підйому вантажу), приймаємо ;

 – вага вантажу, ;

n – кількість ділянок канату, на якому висить вантаж, n = 10 (береться залежно від вантажопідйомності);

 – модуль пружності каната, для середніх умов ;

 – площа поперечного переріза каната,  (визначається залежно від вантажопідйомності).

 – статичний вертикальний прогин конструкції від ваги вантажу в місці його докладання.

,

де L – проліт крана, L = 32,5 м;

J – момент інерції однієї половини мосту;

E – модуль пружності матеріалу металоконструкції,

;

 – швидкість відриву вантажу від основи (для режимної групи 6ДО) [9, с. 135], ;

 – поправковий коефіцієнт, для кранів загального призначення можна брати ;

 – коефіцієнт твердості металоконструкції,

,

де  – наведена до точки підвісу вантажу маса металевої конструкції.

Коефіцієнт режиму навантаження для кранів режимної групи 6ДО  [9, с. 50...51].

При розрахунку внутрішніх силових факторів ураховуємо, що кількість ходових коліс візка , тому що вантажопідйомність крана менше 160 тонн [8], і вага візка й вантажу розподіляються рівномірно на всі колеса, тобто . Можливі сполучення навантажень на ходові колеса візка наведені в таблиці Б.5.2.

Таблиця 3.5.2 – Рухомі навантаження на міст крана

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тиск**  **ходового**  **колеса**  **візка** | **Розрахункові сполучення навантажень** | | | | | | | |
| **I а** | | **I b** | | **II a** | **II b** | **II c** | **III** |
| **max** | **min** | **max** | **min** |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Сполучення навантажень 1а max:

,

де  – коефіцієнт динамічності при плавному розгоні механізму підйому вантажу,  = 1,33

 – маса еквівалентного вантажу,

,

 – маса візка,

,

де  – коефіцієнт еквівалентності,  = 0,7 [9, с. 50...51]

Сполучення навантажень I а min:

.

Сполучення навантажень I b max:

,

де  – коефіцієнт поштовхів при русі крана по нерівностях підкранової колії з половинною швидкістю, =1,05.

Сполучення навантажень I b min:

,

Сполучення навантажень II a:

,

де n4 – значення коефіцієнта перевантажень для ваги вантажу, n4 =1.3 [8, с. 118; 9, с. 166];

 – коефіцієнт динамічності при різкому пуску механізму підйому, .

Сполучення навантажень II b:

,

де kT – коефіцієнт поштовхів при русі крана по нерівностях підкранової колії з максимальною швидкістю,  = 1,1.

Сполучення навантажень II с:

.

Сполучення навантажень III:

.

Результати обчислень зводимо до таблиці 3.5.3.

Таблиця 3.5.3 – Рухомі навантаження, що діють на міст крана

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тиск ходового колеса візка** | **Розрахункові сполучення навантажень** | | | | | | | |
| **I а** | | **I b** | | **II a** | **II b** | **II c** | **III** |
| max | min | max | min |
| Д1 =Д2 | 153,2 | 39,0 | 131,1 | 39,0 | 303,7 | 218,3 | 198,4 | 39,0 |

3.6 Визначення внутрішніх силових факторів

Для визначення необхідного моменту опору перетину головної балки, необхідно знати навантаження, що діють на балку та місця їхнього докладання. Нерухливі навантаження є закріпленими, тому місця їхнього докладання визначаються з конструктивних міркувань. Рухомі навантаження змінюють свій вплив залежно від положення візка, тому необхідно поставити візок у таке положення, при якому його вплив буде максимальним, тобто встановимо візок за правилом Вінклера. Розрахункова схема, для визначення максимального згинального моменту, із установленим візком за правилом Вінклера, показана на рисунку Б.6.1.

Рисунок 3.6.1 – Розрахункова схема додатка вертикальних навантажень комбінацій II а та II b

Вище викладені розрахунки (табл. 3.5.3) показали, що найбільше значення тиску ходових коліс грейферного візка має розрахунковий випадок II а, отже, при визначенні максимального згинального моменту будемо використовувати цей розрахунковий випадок.

Максимальний згинальний момент, що діє в перетині під колесом з тиском  при чотириколесному візку, визначимо за формулою [8, с. 120]



де  – відстань від рівнодіючої до найбільш навантаженого колеса,  (рис. Б.6.1);

 – відстань від осі підкранової рейки до центра ваги механізму пересування, ;

 – відстань від осі підкранової рейки до центра ваги кабіни, .

Навантаження, що діють на металоконструкцію в горизонтальній площині, визначаємо для розрахункової схеми, показаної на рисунку Б.6.2. Горизонтальні навантаження виникають при розгоні й гальмуванні крана, як сили інерції від вертикальних навантажень. Як показує практика, горизонтальні складові від маси механізму пересування й кабіни, незначні й ними можна зневажити.

При визначенні горизонтальних інерційних навантажень на крановий міст прискорення, що виникає в період несталої роботи механізму пересування, варто визначати за формулою



де  – номінальна швидкість пересування крана, ;

 – час розгону крана, яких можна вважати за рівний .

Рисунок 3.6.2 – Розрахункова схема додатка горизонтальних навантажень за правилом Вінклера

Визначимо сумарний горизонтальний згинальний момент у розрахунковому перетині прольоту:



де –  горизонтальна складова від розподіленого навантаження

;

 – горизонтальна складова від рівнодіючої тиску коліс,



S – коефіцієнт, що обчислюється за формулою



де  — база крана, ;

момент інерції пролітної балки щодо вертикальної осі, ;

 – момент інерції кінцевої балки щодо вертикальної осі ;

3.7 Розрахунок розмірів поперечного переріза головної балки

Розміри поперечного перерізу визначають з умови забезпечення міцності балки при дії навантажень комбінації II а. Момент опору балки при вигині у вертикальній площині повинен відповідати умові

.

Виходячи із цього визначимо момент опору перетину, при якому буде виконуватися умова міцності

,

де  – максимальний згинальний момент у розрахунковому перетині головної балки у вертикальній площині, ;

 – коефіцієнт умов роботи (див. п. 4), ;

 – розрахунковий опір матеріалу на вигин, .

Оптимальну, за умовою мінімуму ваги при забезпеченні заданої міцності, висоту стінки для балки із двома осями симетрії визначимо за формулою

.

Беремо висоту перетину головної балки .

За рекомендацій ВНДІПТМАШа гнучкість стінок доцільно призначати в межах Sc=100...300. У нашому випадку гнучкість стінки становить

.

Умова рекомендованої гнучкості стінки  забезпечується. .

З умови забезпечення заданої мінімальної твердості визначимо момент інерції балки у вертикальній площині:



де  – коефіцієнт твердості мосту,

,

де  – граничний відносний прогин мосту при дії номінального рухомого навантаження,  [8, с. 119].

Оптимальну за мінімумом ваги висоту стінки  при забезпеченні заданої твердості визначають за формулою

.

Вищенаведені обчислення показують, що висота головної балки з умови міцності повинна становити . У зв'язку із цим беремо .

Поперечний переріз із прийнятими розмірами зображений на рис. Б.7.1.



Рисунок 3.7.1 – Уточнений перетин пролітної балки

Визначимо геометричні характеристики перетину головної балки c уточненими розмірами:

Момент інерції головної балки відносно осі *х-х:*



Момент інерції головної балки відносно осі *y-y:*



Момент опору перетину головної балки відповідно осі *х-х:*

.

Момент опору перетину головної балки відповідно осі *y-y:*



Площа поперечного переріза в другому наближенні становить:



Різниця площі між першим і другим наближеннями:

.

Оскільки різниця менше 10%, уточнюючий розрахунок не проводимо.

Якщо буде потреба проведення уточнюючого розрахунку, відповідно до рекомендацій [8]беремо, що вага поздовжніх і поперечних ребер жорсткості становить 0,3 від ваги несучих елементів. Тоді погонна вага саме балки складе

,

де  – щільність матеріалу, ;

Погонна вага інших елементів (рейка і її кріплення, площадки обслуговування, огородження) знайдемо за формулою

.

Отже, у другому наближенні нормативна інтенсивність розподіленого навантаження

.

Уточнений згинальний момент

.

Різниця моментів між першим і другим наближенням

.

Різниця між первісним і уточненим моментами не повинна перевищувати 10%, інакше необхідно проводити корегування поперечного перерізу балки.

Перевірка міцності балки в середній частині прольоту здійснюється за формулою

;

.

Умова забезпечення міцності балки

.

Розрахунок виконаний вірно, тому що .

3.8 Варіанти індивідуальних завдань

Варіанти індивідуальних завдань наведені у таблиці 3.8.1

Таблиця3.8.1 – Варіанти завдань для проектування кранових мостів

листового виконання

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  вар. |  |  |  |  |  |  |  | Режим роботи | Місце  встанов-лення |
| 01  02  03  04  05  06  07  08  09  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35 | 5  100  63  16  20  32  7,2  25  10  5  200  8  250  12,5  160  20  80  6,3  50  150  40  320  100  25  125  72  16  50  75  6,3  100  12,5  320  5  20 | 16,5  19,5  34,5  27,5  27,5  22,5  17,5  17,5  22,5  42,5  34,5  22,5  32,5  16,5  30,5  16,5  21,5  40,5  36,5  20,5  20,5  16,5  22,5  27,5  19,5  18,5  14,5  22,5  16,5  22,5  19,5  20,5  17,5  22,5  32,5 | 0,25  0,16  0,23  0,35  0,25  0,12  0,13  0,22  0,13  0,18  0,21  0,17  0,27  0,16  0,11  0,30  0,075  0,06  0,20  0,14  0,15  0,09  0,12  0,26  0,10  0,18  0,40  0,18  0,30  0,22  0,10  0,11  0,06  0,14  0,25 | 1,50  1,20  1,42  2,06  2,10  1,30  1,20  1,70  1,30  1,60  0,53  1,35  0,52  1,30  0,80  1,20  1,40  1,10  1,35  0,90  0,60  0,45  0,90  1,20  0,60  0,90  1,10  1,70  2,10  1,35  0,80  1,60  0,53  0,90  2,10 | 0,75  0,60  0,71  1,00  1,05  0,65  0,60  0,85  0,65  0,80  0,38  0,66  0,33  0,65  0,40  0,20  0,50  0,90  0,65  0,40  0,30  0,10  0,30  0,60  0,30  0,20  0,40  1,35  1,05  1,20  0,40  0,80  0,38  0,45  1,05 | +40  +60  +60  +40  +40  +40  +20  +40  +20  +20  +60  +40  +20  +30  +60  +20  +60  +20  +20  +40  +20  +20  +20  +20  +40  +40  +30  +40  +20  +30  +20  +40  +40  +20  +20 | -20  0  -20  -40  -40  -20  -70  0  -20  -70  -20  -40  -5  -60  -5  0  -5  -70  -5  -5  -60  -5  -40  -5  0  -40  0  -20  -40  -40  -30  -10  -10  -20  -40 | 3К  7К  8К  2К  7К  4К  2К  3К  6К  7К  8К  3К  5К  1К  5К  4К  6К  3К  5К  8К  3К  2К  1К  6К  7К  2К  6К  3К  7К  8К  5К  4К  6К  7К  6К | 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  18  9  17  14  23  16  18  1  2  19  11  8  14 |
| Місце встановлення: 1Механічний цех машинобудівного заводу; 2 Ливарний цех машинобудівного заводу; 3 Мартенівський цех машинобудівного заводу: 4 Відкрита естакада ЦМК; 5 Відкрита естакада копрового цеху; 6 Ковальсько-пресовий цех (склад кувань); 7 Відкрита естакада в умовах Крайньої Півночі; 8 Хімічний завод із підвищеною вологістю; 9 Шихтовий проліт мартенівського цеху; 10 Відкрита естакада мартенівського цеху; 11 Розливочний проліт мартенівського цеху; 12 Відкритий склад металу ЦМК; 13 Механоскладальний цех; 14 Відкритий склад заготовок; 15 Проліт кувань ЦМК; 16 Хімічне виробництво з агресивним середовищем; 17 Розливочний проліт конверторного цеху; 18 Відкрита естакада; 19 Ділянка складання механоскладального цеху; 20 Пічний проліт ливарного цеху; 21 Відкритий склад металу; 22 Проліт мехобробки; 23 Ливарний цех (перевантаження піску). | | | | | | | | | | | |

4 РОЗРАХУНОК СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ НА ЕОМ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (МСЕ)

4.1 Загальні відомості про МСЕ та його застосування

у сучасній інженерній практиці

Теоретичні основи МСЕ стосовно до розрахунку стрижневих конструкцій досить докладно викладені в літературі [3,5, 6, 7, 8].

У науці і техніці постійно доводиться зіштовхуватися з проблемою розрахунку систем, що мають складну геометричну конфігурацію й нерегулярну фізичну структуру. Як правило, такі розрахунки виконуються на ЕОМ за допомогою наближених чисельних методів. Метод скінченних елементів одним з них.

Великий стрибок у розвитку й поширенні обчислювальної техніки за останні роки істотно змінив процес інженерної діяльності. Поява на ринку програмного забезпечення сучасних CAD (Computer Aided Design) і CAE (Computer Aided Engineering) комплексів дозволило прискорити процеси проектування й дослідження різних конструкцій [7].

Серед засобів CAE (засобів забезпечення досліджень) важливе місце посідають комплекси методу скінченних елементів (МСЕ, FEA), що дозволяють проводити імітаційне моделювання роботи досліджуваної конструкції на основі докладного опису її геометрії, фізики, процесів, які моделюються, властивостей застосовуваних матеріалів, експлуатаційних характеристик й інших вихідних даних, які вказуються користувачем [7].

Серед комплексів МСЕ можна вказати такі програмні продукти, як Діана, ИСПА, ANSYS, COSMOS, MSC/NASTRAN, SAMSEF і ін. [7]. Ці комплекси мають великі обчислювальні можливості та охоплюють майже всі сфери наукової й виробничої діяльності.

Існують також й інші програмні реалізації методу кінцевих елементів, що володіють більше вузькою спеціалізацією і забезпечують повний комплекс можливостей, при цьому вимагають набагато менше системних ресурсів комп'ютера. Такі програмні продукти зручно використовувати як в інженерній розрахунковій практиці, так і в навчальному процесі.

Прикладом такого програмного комплексу може служити програмний комплекс MAV.Structure [8] призначений для чисельного дослідження напружено-деформованого стану, динаміки й стійкості стрижневих конструкцій, як у лінійної, так і в геометрично й фізично нелінійній постановці. Його відмінною рисою є пристосованість для розрахунку мостових споруджень, можливість побудови й наступної обробки ліній і поверхонь впливу, а також наявність вбудованої мови програмування, призначеного для автоматизації складних розрахунків і допоміжних обчислень, виконуваних при підготовці вихідних даних.

**Характеристика програмного комплексу Mav.Structure**

Обчислювальні можливості:

– 150 000 степенів вільності;

– 25 000 вузлів;

– 200 000 елементів.

Види розрахунків

Статичні розрахунки:

а) за лінійною теорією;

б) за деформованою схемою в малих переміщеннях;

в) за деформованою схемою у великих переміщеннях.

Розрахунки на стійкість – визначення параметрів і форм втрати стійкості:

а) підбір критичного параметра до всього навантаження;

б) підбір критичного параметра до тимчасового навантаження при незмінної постійної;

г) "Енергетичний постпроцесор", що дозволяє розділити елементи на два класи – активні (підштовхувальну систему до втрати стійкості) і пасивні (утримуючу систему в рівновазі). На сьогоднішній день такий постпроцесор є абсолютно новою функцією в розрахункових комплексах.

Розрахунки на коливання – визначення частот і форм вільних гармонійних коливань:

а) Розрахунок з урахуванням тільки вузлових мас (більш ефективний алгоритм, що заощаджує час розрахунку).

б) Розрахунок з урахуванням як вузлових, так і рівномірно розподілених мас.

в) Розрахунок на коливання за деформованою схемою (у малих і більших переміщеннях).

Побудова ліній і поверхонь впливу:

а) Побудова ліній і поверхонь впливу зусиль, переміщень і напружень.

б) Побудова так званих "умовних" ліній і поверхонь впливу за деформованою схемою в малих і великих переміщеннях.

в) Обчислення параметрів позитивних і негативних ділянок ліній впливу (площ, довжин, максимальних ординат).

г) Обчислення ординат лінії впливу під осями візків автомобільного навантаження АК і НК-80 у невигідних положеннях (згідно СНиП 2.05. 03-84\*).

д) Завантаження ліній і поверхонь впливу довільною системою сил.

Типи кінцевих елементів:

– Шарнірний стрижень, що працює на розтягнення-стиск.

– Гнучка нитка з малою стрілкою провисання.

– Однобічний зв'язок, що працює тільки на стиск.

– Однобічний зв'язок, що працює тільки на розтягання.

– Стрижень що згинається, без урахування жорсткості на зсув.

– Стрижень що згинається, з урахуванням жорсткості на зсув.

4.2 Приклад підготовки вихідних даних для розрахунку

підкранової естакади у програмі Mav.Structure

4.2.1 Постановка завдання та вихідні дані для розрахунку

Визначити згинальні моменти, поперечні і поздовжні сили в елементах кранової естакади за розрахунковою схемою, поданою на рис. 4.1. Вихідні дані для розрахунку наведено у табл.. 4.1.



Рисунок 4.1 –Схема підкранової естакади

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку естакади за МКЕ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Позначення** | **Значення** | **Розмірність** |
| Навантаження | *G* | *25* | *кН* |
| Розміри естакади | *L1*  *L2*  *h* | *15*  *10*  *4* | *м*  *м*  *м* |
| Геометричні  Характеристики перерізів | Переріз 1 | | |
|  |  | *м4*  *м2* |
| Переріз 2 | | |
|  |  | *м4*  *м2* |
| Модуль пружності матеріалу | *E* |  | *Па* |

Геометричні характеристика задаються відносно локальних осей стрижневого елементу (рис. 4.2). Вісь U завжди лежить на поздовжній осі стрижня і спрямована від початку (перший вузол) до кінця (другий вузол). Вісь V завжди спрямована у верхній півпростір. Трійка U, V, W – права.



Рисунок 4.2 – Орієнтація локальних осей у стрижневому елементі

4.2.2 Послідовність дій при підготовки вихідних даних

Підготовка вихідних даних для розрахунку ведеться у наступній послідовності (див. рис. 4.2)

1. Вибираємо глобальну систему координат *ХОY* (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Вибір глобальної системи координат

2 Розділяємо вихідну розрахункову схему на елементи кінцевих розмірів (рис. 4.4). При виконанні цієї процедури необхідно врахувати наступні обов'язкові вимоги МСЕ у версії Mav.Structure:

* кожен елемент повинен являти собою стрижень із прямою нейтральною віссю і постійним за довжиною поперечним перерізом;
* елементи з'єднуються між собою так, як вони з'єднані у вихідній розрахунковій схемі;
* зовнішні навантаження можуть бути докладені в точках з'єднання кінців стрижнів (у вузлах);
* опори, що забезпечують нерухомість закріплення розрахункової схему, повинні розміщатися також у вузлах;
* загальна кількість елементів не повинне перевищувати зазначене в інструкції до програми (для демо-версії програми Mav.Structure – 80).



Рисунок 4.4 – Розбивка розрахункової схеми на вузли

1. Нумеруємо елементи і вузли арабськими цифрами. Цифри, що вказують номери елементів, рекомендується обводити (див. рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Розбивка розрахункової схеми на елементи

Розрахункова схема для складання завдання на розрахунок за МСЕ наведена на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 – Розрахункова схема для складання завдання на розрахунок

за МСЕ

5 Складаємо матрицю координат вузлів, що містить чотири стовпці: номер вузла; координата *Х*; координата *Y*; координата *Z*. Кількість рядків матриці координат дорівнює кількості вузлів. Координати повинні бути виражені в метрах. Матриця координат для розглянутого прикладу наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.2 – Матриця координат вузлів

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Номер**  **вузла** | **X, м** | **Y, м** | **Z, м** |
| 1 | *0* | *h* | *0* |
| 2 | *L2* | *h* | *0* |
| 3 | *L2+0.5L1* | *h* | *0* |
| 4 | *L2+L1* | *h* | *0* |
| 5 | *L2* | *0* | *0* |

6 Складаємо матрицю зв'язків елементів (табл. 4.3), в якій вказуємо номер вузла початку і номер вузла кінця елементу.

Таблиця 4.3 – Матриця зв’язків елементів

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Номер**  **елемента** | **Номер**  **початку** | **Номер**  **кінця** |
| 1 | *1* | *2* |
| 2 | *2* | *3* |
| 3 | *3* | *4* |
| 4 | *2* | *5* |

7 Складаємо матрицю типів геометричних характеристик. Для нашого завдання матриця має вигляд таблиці 4.4, де IX – момент інерції відносно осі Х, А – площа перерізу.

Таблиця 4.4 – Матриця типів геометричних характеристик

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Номер**  **типу** |  |  |
| 1 |  |  |
| 2 | *2* |  |

8 Складаємо матрицю зовнішніх навантажень, що має чотири стовпці: номер вузла, де докладене навантаження; значення сили у напрямку осі *Х*; значення сили у напрямку осі *Y*; значення згинального моменту в даному вузлі. При цьому сили мають бути виражені у кілоньютонах, згинальні моменти – у кілоньютон-метрах. Розподілене навантаження може бути подане у вигляді набору зосереджених сил, прикладених у вузлах та внесено до табл.. 4.5, або внесено до табл. 4.6, як навантаження на стрижень. У розглянутому прикладі розподілене навантаження відсутнє.

Таблиця 4.5 – Матриця вузлових навантажень

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Номер вузла** | **PX,**  **кН** | **PY,**  **кН** | **MZ,**  **кНм** |
| 3 | *0* | *-G* | *0* |

Таблиця 4.6 – Матриця вузлових навантажень

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Номер стрижня** | **qX,**  **кН/м** | **qY,**  **кН/м** | **м**  **кН** |
|  | *0* | *-G* | *0* |

9 Складаємо матрицю, що характеризує закріплення розрахункової схеми (розміщення опор) і складається з чотирьох стовпців: номер вузла, у якому є закріплення; наявність (+) або відсутність (-) зв'язку у напрямку осі *Х (Dx)*; наявність або відсутність зв'язку у напрямку осі *Y (Dy)*; наявність закріплення від повороту *(Rz)*. Кількість рядків матриці дорівнює кількості вузлів, у яких розміщені закріплення. Матриця закріплень для розглянутого прикладу наведена в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Матриця закріплення вузлів

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Номер**  **вузла** | **Dx** | **Dy** | **Rz** |
| 1 | *-* | *+* | *-* |
| 4 | *+* | *+* | *+* |
| 5 | *+* | *+* | *-* |

4.3 Підготовка файла вихідних даних

Після підготовки розрахункової схеми, необхідно внести отримані дані до комп’ютера, після чого виконується розрахунок за цими даними. Метод внесення вихідних даних відрізняється у залежності від програмного комплексу. Для програми Mav.Structue він являє собою текстовий файл з розширенням \*.prg. Лістинг програми для розрахунку кранової естакади з необхідними поясненнями наведено у додатку А. Загальний вигляд вікна програми наведено на рис. 4.7.

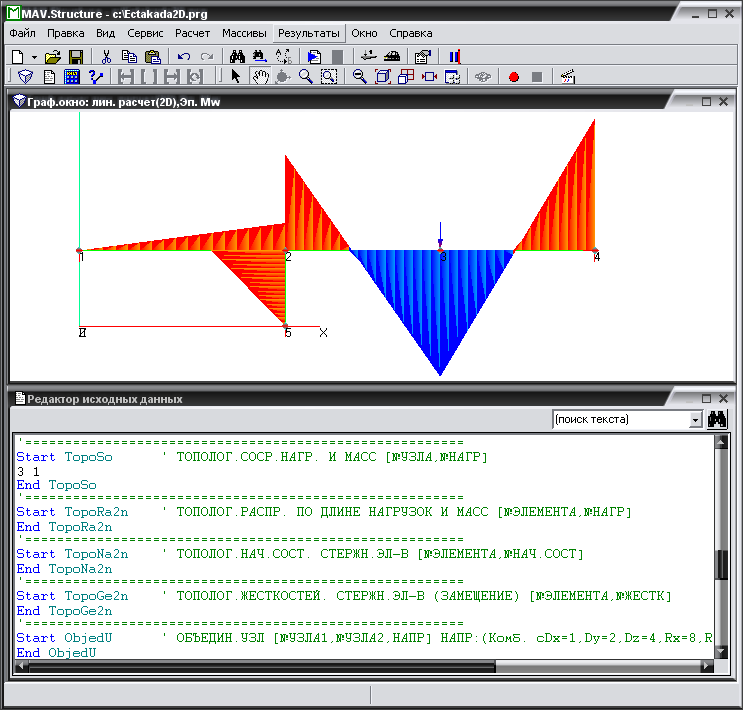


Рисунок 4.7 – Загальний вид робочого вікна програми Mav.Structure

4.4 Отримання результатів розрахунку

У результаті розрахунку нашої системи ми отримаємо інформацію про переміщення вузлів системи (рис. 4.8), зусилля в стрижнях (рис. 4.9), опорні реакції (рис. 4.10) та епюри згинальних моментів, повздовжніх та поперечних сил рис. 4.10.

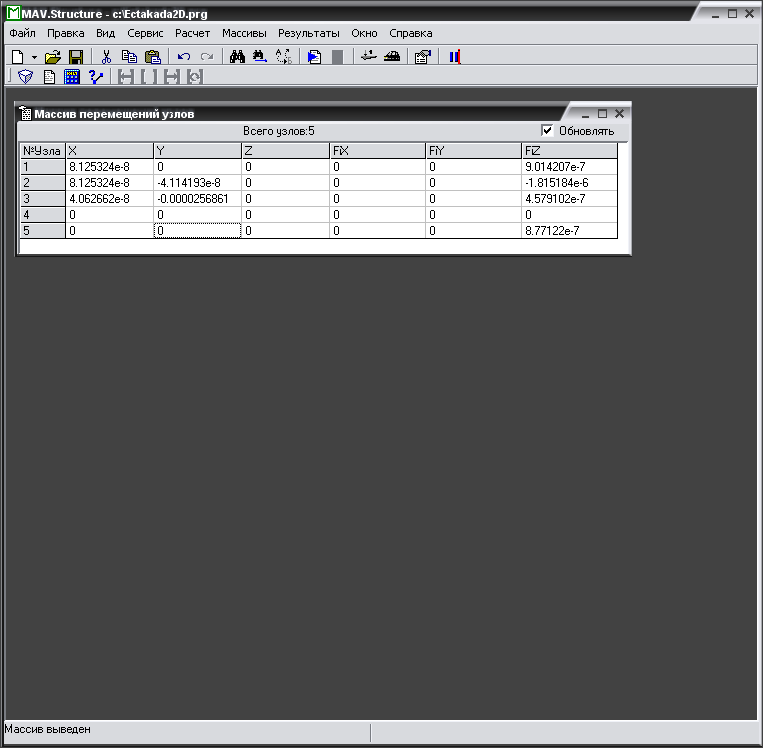


Рисунок 4.8 – Масив переміщень вузлів системи

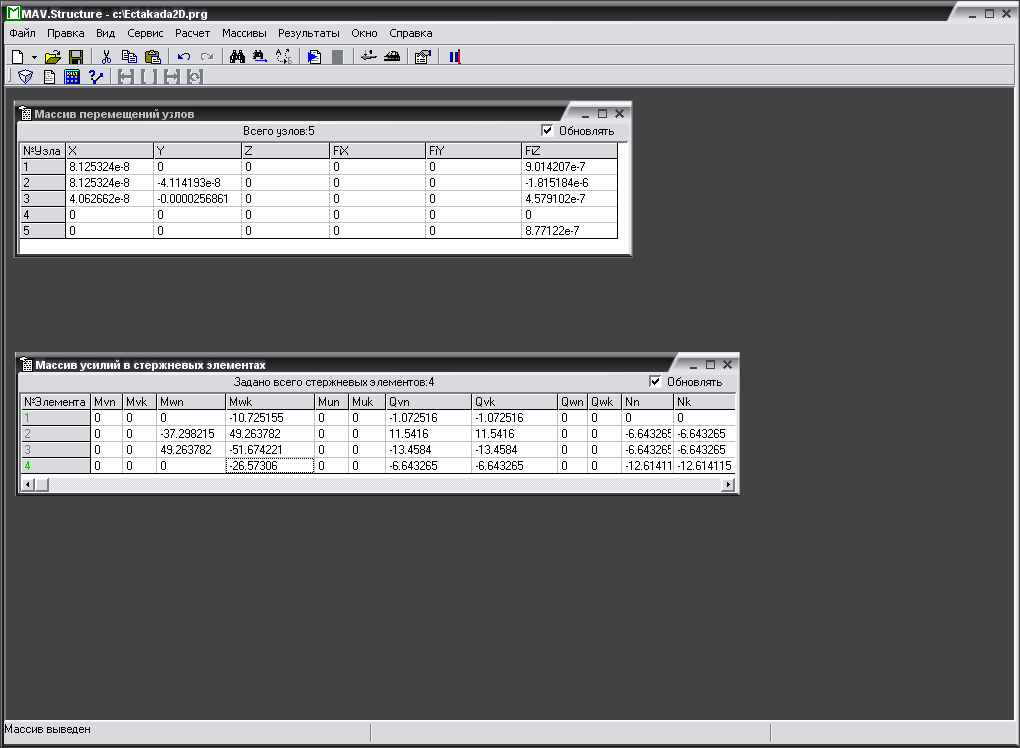


Рисунок 4.9 – Масив зусиль в стрижнях системи

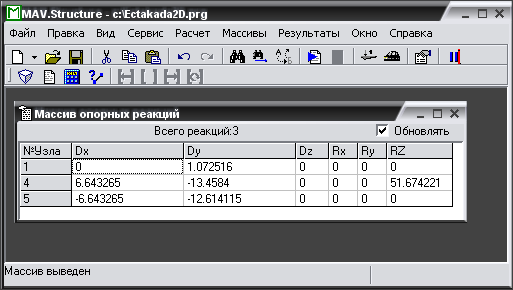


Рисунок 4.10 – Масив опорних реакцій

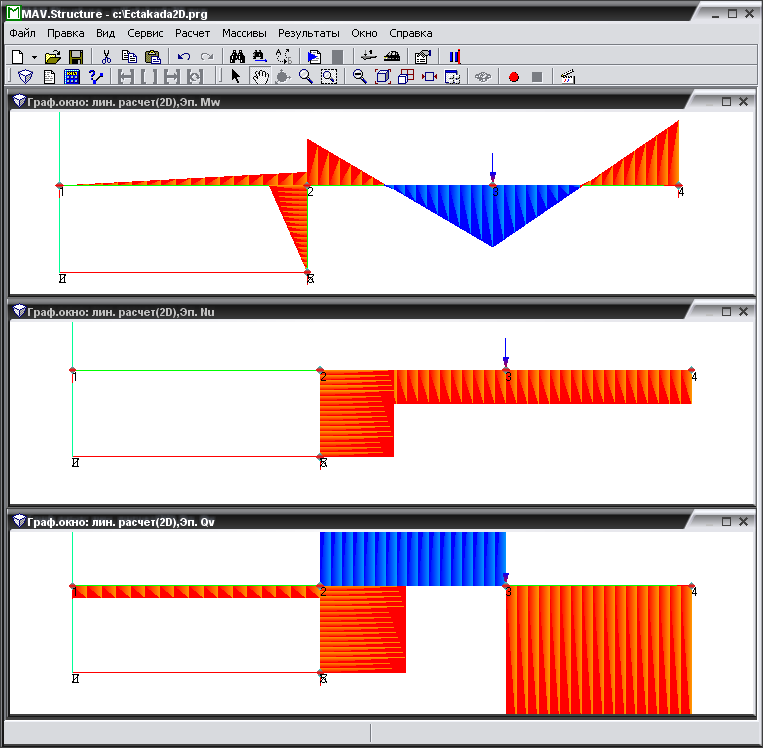


Рисунок 4.11 – Епюри згинальних моментів, повздовжніх та поперечних сил

У даному випадку було наведено навчальний приклад розрахунку статично невизначеної системи за допомогою демо-версії програми Mav.Structure 1.2 ООО «Товарищество кафедры “Мосты” МИИТа» (Т.К.М.), але за бажанням студента та згодою лектора можна використовувати інші програмні комплекси, але дотримуючись ліцензії, наприклад програму STERGEN [6].

4.5 Варіанти індивідуальних завдань на розрахунок

металоконструкцій за допомогою МСЕ

Варіанти індивідуальних завдань на розрахунок металоконструкцій за розрахунковою схемою статично невизначена рама наведені в табл. 4.8. При цьому розрахункові схеми наведені в додатку Б.

Таблиця 4.8 – Варіанти індивідуальних завдань із розрахунку

статично невизначених рам

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Варіант** | **Номер розр. схеми** | **Розміри елементів розрахункової схеми** | | | | **Навантаження, кН, кН/м** | | | **Вигінна жорсткість, кН·м2·103** | |
| ***L*** | ***h*** | ***a*** | ***b*** | ***P1*** | ***P2*** | ***q*** | ***EI1*** | ***EI2*** |
| 1 | 3 | 50 | 5 | 24 | 4 | 20 | 20 | 0 | 20 | 15 |
| 2 | 4 | 10 | 4 | 5 | 0 | 80 | 0 | 0 | 25 | 10 |
| 3 | 6 | 25 | 20 | 20 | 5 | 50 | 0 | 0,4 | 14 | 12 |
| 4 | 1 | 20 | 3 | 11 | 4 | 15 | 15 | 0 | 12 | 8 |
| 5 | 3 | 70 | 4 | 35 | 0 | 25 | 0 | 0,5 | 25 | 12 |
| 6 | 6 | 12 | 45 | 12 | 3 | 20 | 0 | 0,4 | 6,5 | 3,4 |
| 7 | 4 | 20 | 5 | 9 | 4 | 25 | 25 | 0 | 30 | 20 |
| 8 | 5 | 4 | 8 | 2 | 0 | 100 | 0 | 0,5 | 4,2 | 2,8 |
| 9 | 1 | 30 | 5 | 15 | 0 | 50 | 0 | 0,2 | 8,6 | 5,1 |
| 10 | 3 | 100 | 4 | 50 | 5 | 25 | 25 | 0,1 | 41 | 35 |
| 11 | 2 | 28 | 10 | 14 | 0 | 5 | 5 | 1,5 | 32 | 19 |
| 12 | 3 | 60 | 12 | 20 | 5 | 8 | 8 | 0 | 35 | 22 |
| 13 | 5 | 4 | 12 | 2 | 0 | 10 | 0 | 0 | 24 | 17 |
| 14 | 6 | 30 | 40 | 30 | 6 | 5 | 0 | 0,2 | 14 | 12 |
| 15 | 7 | 20 | 5 | 10 | 4 | 6 | 6 | 1,0 | 6,4 | 6,1 |
| 16 | 1 | 16 | 4 | 7 | 2 | 3 | 3 | 0 | 1,2 | 0,8 |
| 17 | 2 | 60 | 8 | 30 | 3 | 7 | 7 | 0,9 | 7,4 | 4,2 |
| 18 | 4 | 10 | 4 | 5 | 0 | 50 | 0 | 0 | 21 | 8 |
| 19 | 6 | 25 | 20 | 20 | 6 | 50 | 0 | 0,4 | 14 | 12 |
| 20 | 3 | 70 | 4 | 35 | 0 | 25 | 0 | 0,5 | 25 | 11 |
| 21 | 3 | 50 | 5 | 24 | 4 | 20 | 20 | 0 | 20 | 15 |
| 22 | 4 | 20 | 5 | 9 | 4 | 25 | 25 | 0 | 30 | 20 |
| 23 | 7 | 100 | 12 | 50 | 8 | 1 | 1 | 0,4 | 0,9 | 0,4 |
| 24 | 5 | 6 | 16 | 3 | 0 | 40 | 0 | 0,5 | 8,1 | 4,2 |
| 25 | 7 | 40 | 6 | 20 | 0 | 6 | 0 | 1,1 | 19,1 | 6,1 |

ЛІТЕРАТУРА

1. Богуславский Н.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. – М.: Машгиз, 1961. – 519 с.
2. Кубланов Н.П. Строительная механика и металлические конструкции кранов/ Н.П.Кубланов, И.Е.Спенглер. – К.: Будивельник, 1968. – 268 с.
3. Строительная механика и металлические конструкции/ А.В.Вершинский, М.М.Гохберг, В.П.Семенов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
4. Дарков А.В. Строительная механика. Статика сооружений/ А.В.Дарков, В.И.Кузнецов. – М.: Высш. школа, 1962. – 744 с.
5. Метод конечных элементов / П.М.Варвак, И.М.Бузун, А.С.Городецкий и др. – К.: Вища школа, 1981. – 176 с.
6. Овчаренко В.А. Расчет задач машиностроения методом конечных элементов: Учеб. посо-бие. – Краматорск: ДГМА, 2004. – 128 с..
7. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005.– 640 с., ил.
8. http://www.mav.tkm-most.ru.

ДОДАТКИ

Додаток А

**Варіанти розрахункових схем ферм**



Схема 1



Схема 2



Схема 3



Схема 4



Схема 5



Схема 6



Схема 7



Схема 8



Схема 9

Додаток Б

**Варіанти розрахункових схем рам**



Схема 1 – Розрахункова схема металоконструкції напівкозлового крана



Схема 2 – Розрахункова схема металоконструкції кранової естакади



Схема 3 – Розрахункова схема металоконструкції кранової естакади



Схема 4 – Розрахункова схема металоконструкції порталу козлового крана



Схема 5 – Розрахункова схема металоконструкції порталу дострїчного крана



Схема 6 – Розрахункова схема металоконструкції консольно-повортного крана



Схема 7 – Розрахункова схема металоконструкції кранової естакади

Додаток В

**Лістинг розрахунку кранової естакади за допомогою комплексу Mav.Structure**

' Вихідні дані для розрахунку

[E=2.1e11] ' Модуль пружності матеріалу

[Ix1=9400e-8] ' Момент інерції першого типу перерізу відносно осі Х

[A1=58.4e-4] ' Площа першого типу перерізу відносно осі Х

[Ix2=9400e-8] ' Момент інерції другого типу перерізу відносно осі Х

[A2=58.4e-4] ' Площа другого типу перерізу відносно осі Х

' геометричні параметри естакади

[L2=10]

[L1=15]

[H=4]

' Навантаження

[P=-25]

**SetGeometry2D** On ' Вимикаємо просторовий розрахунок

'== Координати вузлів =================================================

'\* № вузла, X, Y, Z = 0 X-праворуч,Y-уверх,Z-до себе

**Start** Coordi

1 0 [H] 0

2 [L2] [H] 0

3 [L2+0.5\*L1] [H] 0

4 [L2+L1] [H] 0

5 [L2] 0 0

**End** Coordi

'=======================================================

'\* ТОПОЛОГИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ [№,УЗн,УЗк,УГ.ОРИЕНТ.,№ЖЕСТК,№ТИП]

' №ТИПов: 1-шарнирн,2-нить,3-сжатие,4-раст,5-изг,6-изг+сдв

' Угол орієнтації дорівнює нулю

' Тип елементів у нашому випадку – п’ятий.

**Start** TopoEl2n

1 1 2 0 1 5

2 2 3 0 1 5

3 3 4 0 1 5

4 2 5 0 2 5

**End** TopoEl2n

'=Закріплення вузлів ==================================

'\* ЗАКРЕПЛ.УЗЛОВ [№УЗЛА,НАПР] НАПР:(Комбинация cDx=1,Dy=2,Dz=4,Rx=8,Ry=16,Rz=32)

**Start** Zakrep

1 [cDy]

4 [cDxDyRz]

5 [cDxDy]

**End** Zakrep

'=======================================================

**Start** HaraGe2n '\* ХАР.ЖЕСТКОСТЕЙ СТЕРЖН.ЭЛ-В [№,EA,EIw,EIv,GIkr,kwGA,kvGA]

1 [E\*A1] [E\*Ix1] 0 0 0 0

2 [E\*A2] [E\*Ix2] 0 0 0 0

**End** HaraGe2n

'=======================================================

**Start** HaraSo ' ХАР.УЗЛ.НАГР.И МАСС [№,Px,Py,Pz,Mx,My,Mz,M] M+ прот.ч.с.если ось к себе

1 0 [P] 0 0 0 0 0

**End** HaraSo

'=======================================================

**Start** TopoSo ' ТОПОЛОГ.СОСР.НАГР. И МАСС [№УЗЛА,№НАГР]

3 1

**End** TopoSo

**Calculate** Linear ' Виконати лінійний розрахунок

*Навчальне видання*

**Методичні вказівки  
до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни  
«Будівельна механіка і металеві конструкції ПТБіДМ»**

**для студентів спеціальності 7.090214**

**КОЙНАШ Віталій Олексійович**

Редактор І.І.Дьякова

Комп’ютерна верстка О.П.Ордіна

Вз.72/2006. Підп. до друку Формат 60х84/16.

Папір офсетний. Ум. друк. арк. Обл.-вид. арк.

Тираж прим. Зам. №

Видавець і виготівник

«Донбаська державна машинобудівна академія»

84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до державного реєстру

серія ДК № 1633 від 24.12.2003