

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра Деталей машин і підйомно-транспортних механізмів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження напруженого стану в стрижнях телескопічної стріли
автопідйомника АП-15
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи М-322м

Спеціальності 133 - Галузеве машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,
меліоративні машини і обладнання

СІНГАЄВСЬКИЙ Д.Ю.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник доц. МАРТОВИЦЬКИЙ Л.М.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Машинобудівний

Кафедра Деталей машин і підйомно-транспортних механізмів

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 133 - Галузеве машинобудування

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання.

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **МАРТОВИЦЬКИЙ Л.М.**

« 14 » _____ 10 _____ 20 23 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

СІНГАЄВСЬКИЙ Денис Юрійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження напруженого стану в стрижнях телескопічної стріли автопідйомника АП-15

керівник проєкту (роботи) доц. МАРТОВИЦЬКИЙ Леонід Максимович,

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 11 » _____ 10 _____ 2023 року № 387

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 15.12.2023р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Загальний огляд підйомника, особливості конструкції стріли підйомника, специфіка розрахунку стріл решітчастої конструкції, порівняння конструкцій стріл підйомників, розрахунок стріли підйомнику, розрахунок методом кінцевих елементів, аналіз результатів розрахунку, дослідження стійкості автопідйомника.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів). Плакати 5 аркушів

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	МАРТОВИЦЬКИЙ Леонід Максимович доцент		
2	МАРТОВИЦЬКИЙ Леонід Максимович доцент		
3	МАРТОВИЦЬКИЙ Леонід Максимович доцент		
4	МАРТОВИЦЬКИЙ Леонід Максимович доцент		
5	МАРТОВИЦЬКИЙ Леонід Максимович доцент		

7. Дата видачі завдання «__11__» _____10_____20_23_року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Загальний огляд підйомника	16.10.2023р	
2	Особливості конструкції стріли підйомника	23.10.2023р	
3	Специфіка розрахунку стріл решітчастої конструкції	30.10.2023р	
4	Порівняння конструкцій стріл підйомників	22.09.2023р	
5	Розрахунок стріли підйомнику	06.11.2023р	
6	Розрахунок методом кінцевих елементів, дослідження стійкості автопідйомника	13.11.2023р	
7	Оформлення креслення	27.11.2023р	
8	Оформлення пояснювальної записки	05.12.2023р	

Студент(ка)

_____ **Денис СІНГАЄВСЬКИЙ**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ **Леонід МАРТОВИЦЬКИЙ**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 100 с., рис. 39, табл. 8,6 додатків, 22 джерел.

Об'єкт дослідження – існуючий автопідйомник телескопічний АП-15А модельного ряду телескопічних автопідйомників, що виготовляються на мелітопольському заводі “Гидромаш”.

Ціль роботи – дослідження напруженого стану елементів телескопічної стріли решітчастого типу автопідйомника АП-15А.

Методи дослідження – використано наступні розрахункові методи будівельної механіки при визначенні діючих внутрішніх силових факторів:

- Метод вирізання вузлів;
- Метод точок Рітера;
- Метод кінцевих елементів.

Шляхом використання ЕОМ розраховані напруження, що діють в елементах стріли за програмою “STRESS” (англ. напруження.)

Металева конструкція телескопічної стріли розрахована за методикою допустимих напружень.

Робота побудована таким чином, що крім дослідження напружень, які виникають в елементах металоконструкції телескопічної стріли також визначається стійкість машини і надаються рекомендації по її підвищенню.

АВТОПІДЙОМНИК, ТЕЛЕСКОПІЧНА СТРИЛА, ПРОСТОРОВА ФЕРМА, КОЛИСКА, НАПРУЖЕННЯ, ЗУСИЛЛЯ, СТІЙКІСТЬ, ВУЗЕЛ, КОЛІНО, ANSYS, COSMOS, Turbo Pascal.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Загальний огляд підйомників.....	9
1.1 Загальний устрій та класифікація.....	9
1.2 Основні параметри.....	11
1.3 Відомості про стійкість.....	13
1.4 Будова підйомнику АП-15.....	17
1.5 Робоче обладнання підйомників.....	19
2 Особливості конструкції стріли підйомників.....	22
2.1 Конструкції стріл існуючих підйомників.....	22
2.2 Стріли конструкції решітчастого типу.....	23
3 Специфіка розрахунку стріл решітчастої конструкції.....	24
4 Порівняння конструкцій стріл підйомників.....	25
4.1 Критерії порівняння.....	25
4.2 Порівняння стріл.....	26
4.3 Аналіз результатів порівняння.....	33
5 Розрахунок стріли підйомнику АП-15А конструкції решітчастого типу.....	34
5.1 Розрахункові навантаження.....	34
5.2 Розрахункові схеми.....	40
5.3 Сортамент стрілової конструкції.....	50
5.4 Розрахунок методом вирізання вузлів.....	53
5.5 Розрахунок методом точок Ріттера.....	64
5.6 Напруження в елементах стрілової конструкції.....	70
5.7 Розрахунок методом кінцевих елементів.....	73

5.7.1 Умови дослідження.....	73
5.7.2 Алгоритм виконання дослідження в системі ANSYS.....	78
5.8 Аналіз результатів розрахунку.....	81
6 Дослідження стійкості автопідйомника.....	83
6.1 Розрахункова схема.....	83
6.2 Розрахунок стійкості автопідйомника.....	84
6.3 Рекомендації щодо підвищення стійкості автопідйомника.....	85
Висновки.....	89
Перелік посилань.....	92
Додаток А Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS середнього коліна.....	94
Додаток Б Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS нижнього коліна.....	95
Додаток Д Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS верхнього коліна.....	96
Додаток Г Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS верхнього тривимірного коліна.....	97

ВСТУП

Автопідйомник – це машина, призначена для підйому робітників з матеріалами та інструментом на висоту при виконанні ремонтних, будівельно-монтажних та інших видів робіт. Не менш актуальним є додаткове застосування цієї машини, а саме, для рятування людей та майна з верхніх поверхів будівель під час стихійних лих та пожеж. Робота з людьми на висоті ставить до машини жорсткі вимоги. Крім того, завжди постають питання отримання найбільшої дальності вильоту люльки та висоти підймання, ну а поруч протилежне. Як забезпечити стійкість?

Найголовнішою складовою автомобільного підйомника є стріла. До того ж, саме її параметри визначають бажану висоту підймання, величину виліту та вантажопідймальність люльки. Все це дає відповідь на наступне питання.

Чому дослідження напруженого стану?

Відомо, що будь-який елемент буде працювати доки не почне руйнуватися. Напружений стан, а точніше напруження, що виникають в металевій системі – це найголовніший показник роботоздатності. Для визначення напружень можуть бути використані класичні методи будівельної механіки. Цей напрям вже перевірений, хоча має недоліки. По-перше, це наявність людського фактору у розрахунках, що збільшує час потрібний на розрахунки, а також допускає можливість помилок, виправлення яких призводить знову до втрати часу. По-друге, наявність багатьох припущень при складанні розрахункової схеми, прикладанню навантажень тощо.

Крім класичних методів останнім часом все більше розповсюдження отримують дослідження з використанням програмних пакетів, які засновані на методі кінцевих елементів для обрахунку на EOM. Серед найвідоміших можна виділити такі як ANSYS, NASTRAN, ABACUS, COSMOS, STAAD, український комплекс SCAD, вітчизняні комплекси MicroFE, СТАДИО тощо. Метод кінцевих елементів заснований на ідеї апроксимації безупинної функції (у

фізичній інтерпретації - температури, тиску, переміщення і т.д.) дискретною моделлю, що будується на безлічі кусочно-безупинних функцій, визначених на кінцевому числі підобластей, називаних кінцевими елементами. Досліджувана геометрична область розбивається на елементи таким чином, щоб на кожному з них невідома функція апроксимувалася спробою функцією (як правило, поліномом). Причому ці спробні функції повинні задовольняти граничним умовам безперервності, що збігає з граничними умовами, що накладаються самою задачею. Вибір для кожного елемента апроксимуючої функції буде визначати відповідний тип елемента.

Отже метою магістерської роботи є визначити діючі зусилля та напруження в стрижнях решітчастої стріли з використанням класичних методів будівельної механіки, а також програмного комплексу ANSYS. Це дасть змогу зробити висновки, по-перше, про наявність прихованих резервів автомобільного підйомника. По-друге, порівняти отримані результати ручним розрахунком та розрахунком за методом кінцевих елементів. По-третє, при наявності запасів міцності дати рекомендації щодо їх використання.

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОГЛЯД ПІДЙОМНИКІВ

1.1 Загальний устрій та класифікація

Устрій. Автомобільні підйомники і вишки - це вантажопідйомні машини для вертикального чи похилого переміщення вантажів і людей з одного рівня на інший у колисках і робочих площадках, установлених на робочому устаткуванні у виді шарнірно зчленованих колін (у підйомників) чи телескопічної щогли (у вишок). Більшість підйомників і вишок установлені на шасі автомобіля. Деякі підйомники - причіпні, вони не мають свого механізму пересування. Розглянемо докладніше пристрій підйомника і вишки.

Підйомник (рис. 1, а) має робоче устаткування у виді одного, двох чи більш шарнірно зчленованих колін 2, 3. До оголовка верхнього коліна прикріплена робоча площадка (коліска) 4. Нижнє коліно встановлене шарнірно на поворотній платформі 6. Коліна повертаються відносно один одного і платформи на деякий кут за допомогою гідроциліндрів 1, 5 і важелів. Платформа повертається щодо ходової частини в горизонтальній площині на опорно-поворотному пристрої 7 за допомогою механізму обертання. Колиска при повороті колін зберігає вертикальне положення завдяки механізму, що стежить. Просторове переміщення колиски здійснюється декількома (у даному випадку трьома) механізмами зміною кутів нахилу нижнього і верхнього коліна й обертанням платформи.

Ходова частина підйомника - автомобіль. Шасі підсилюється опорною рамою 9 з додатковими опорами 8 для забезпечення стійкості машини.

Підйомник обладнаний системами керування і приладами безпеки. Механізми підйомника приводяться в дію від двигуна автомобіля.

Деякі підйомники встановлюють на самохідний візок (шасі), які до місця роботи доставляється у виді причепа до тягача. Підйомник ППК-14 чисто причіпний, не має свого механізму пересування, інші підйомники обладнані

найпростішим механізмом пересування по робочій площадці з малою швидкістю (до 3 км/год). Механізми причіпних підйомників, як правило, одержують енергію від промислової мережі напругою 380 В.

Вишка (рис. 1, б) являє собою телескопічну щоглу 13 з коліскою нагорі і призначена тільки для вертикального підйому людей. Робоча площадка не переміщається в просторі, і вишка має обмежену зону обслуговування. Тому вишки, як правило, використовують у міських умовах для обслуговування освітлювальної мережі, контактних ліній суспільного транспорту. Опорна рама вишки значно простіше опорної рами підйомника. Вишки змонтовані на базі автомобіля і від його двигуна приводяться в дію. Ці машини, так само як і підйомники, обладнані системами керування і приладами безпеки.

Класифікація підйомників.

Підйомники класифікують по наступним ознаках:

*за призначенням вони бувають загального призначення і спеціальні. Машини загального призначення застосовують для різних будівельно-монтажних робіт: фарбування зовнішніх поверхонь будинків і споруджень, електромонтажних робіт, теплоізоляційних, санітарно-технічних. Машини спеціального призначення служать для виконання визначеного виду робіт і відповідним чином доукомплектуються, наприклад, для протипожежних операцій, пристрою ліній електропередач;

*за конструкції робочого устаткування розрізняють одне-, двох- і триколінні підйомники;

*за можливості повороту робочого устаткування вони бувають повноповоротні (на 360°) і неповноповоротні ($<360^\circ$);

*за конструкції ходової частини - автомобільні і причіпні;

*за типом приводу робочих рухів - гідравлічні, електрогідравлічні й електромеханічні.

1.2 Основні параметри

Основні технічні дані, що характеризують машини, називаються параметрами. За значенням цих параметрів можна визначити, яку роботу можна виконувати тією чи іншою машиною.

До основних параметрів підйомників і вишок відносяться: вантажопідйомність, робоча висота, виліт (для підйомників), час підйому колиски на максимальну висоту, швидкість пересування, потужність силової установки, транспортні габаритні розміри, маса.

Вантажопідйомність Q - найбільша маса вантажу, яку можна підняти в колисці, вимірюється в кг.

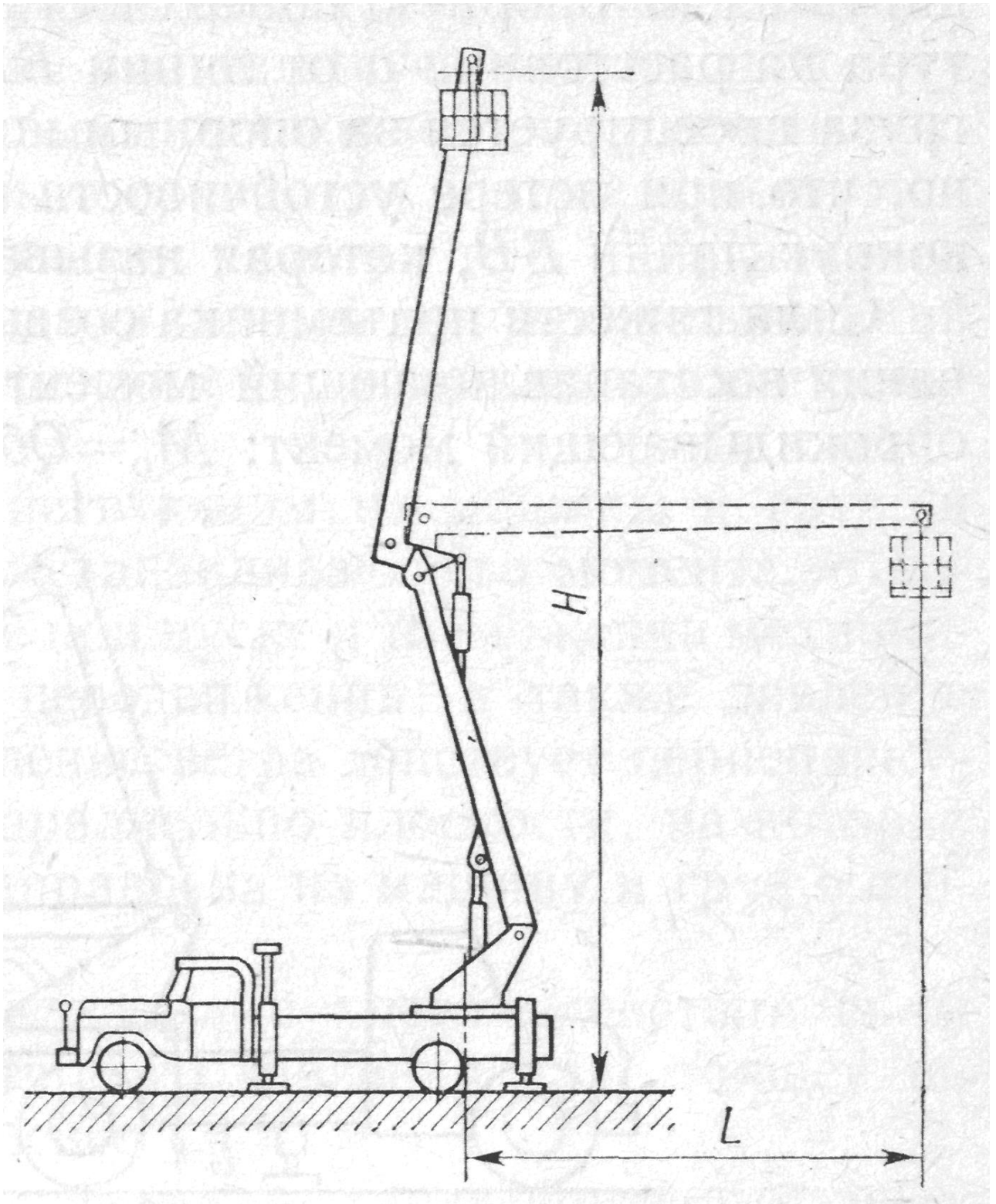
Робоча висота H - найбільша відстань (від основи, на якій встановлено машину, до підлоги робочої площадки плюс 1,5 м), на яке може бути піднята колиска даної машини, вимірюється в м.

Виліт L - відстань від вертикальної осі повороту підйомника до середини робочої площадки, вимірюється в м.

Час підйому колиски на максимальну висоту визначається швидкістю повороту колін чи висування телескопів, вимірюється в с.

Швидкість пересування машин вимірюється в км/год чи м/с. Для причіпних підйомників розрізняють швидкість робочу і транспортну.

Потужність силової установки - двигунів внутрішнього згоряння чи електричних, що одержують енергію від акумуляторних батарей чи від промислової електромережі, вимірюють у Вт.



H - робоча висота,

L - виліт

Рисунок 1.1 - Схема для визначення основних параметрів підйомника

Робочі і транспортні габаритні розміри - найбільші довжина, ширина, висота в робочому чи транспортному положенні, вимірюються в м.

Конструктивні параметри: відстань між осями - база, колія коліс, дорожній просвіт, радіуси повороту по коліях коліс, по зовнішніх частинах, вимірюються в м.

Маса машини виражається в кг чи т.

1.3 Відомості про стійкість

Підйомники і вишки відносяться до вільностоячих вантажопідйомних машин. Їхня стійкість забезпечується тільки власною силою ваги. При роботі ці машини спираються на колеса чи гвинтові або гідравлічні домкрати (виносні опори). На деяких моделях опорами слугують одночасно і колеса, і домкрати.

Проаналізуємо, як забезпечується стійкість підйомника і які сили діють на нього (рис. 1.2). Уявимо, що підйомник установлений на горизонтальній площадці і при власній силі ваги G піднімає вантаж Q на виносних опорах. У плані лінії, що з'єднують точки контакту опор із площадкою, утворюють опорний контур у виді чотирикутника АБВГ. Центр ваги підйомника проектується на опорну поверхню (крапка G_1) усередині опорного контуру на відстані a від лінії БВ. Відповідно центр ваги вантажу проектується за опорним контуром на відстані b . Очевидно, що при втраті стійкості підйомник буде повертатися навколо лінії БВ, що називається **ребром перекидання**.

Сила ваги підйомника створює відносно ребра перекидання момент, що відновлює, $M_B = Ga$, а сила ваги вантажу - перекидаючий момент: $M_{\Pi} = Qb$.

Співвідношення між тим, який відновлює і перекидає моментами визначає ступінь стійкості машини з вантажем і виражається через коефіцієнт стійкості K :

$$K = \frac{M_B}{M_{\Pi}} \geq [K], \quad (1.1)$$

де $[K]$ - допустимий коефіцієнт стійкості.

Для підйомників допустимий коефіцієнт стійкості, обумовлений як відношення моменту, створюваного силою ваги всіх частин машини без врахування додаткових навантажень і ухилу площадки, до моменту, створюваному робочим вантажем, дорівнює 1,5.

При зміні положення робочого устаткування в горизонтальній площині і вильоту вантажу змінюється взаємне розташування центрів ваги машини і вантажу, а також їхнє положення щодо ребер перекидання. Це приводить до зміни відновлюю чого та перекидаючого моментів і їхнього співвідношення, тобто до зміни коефіцієнта стійкості.

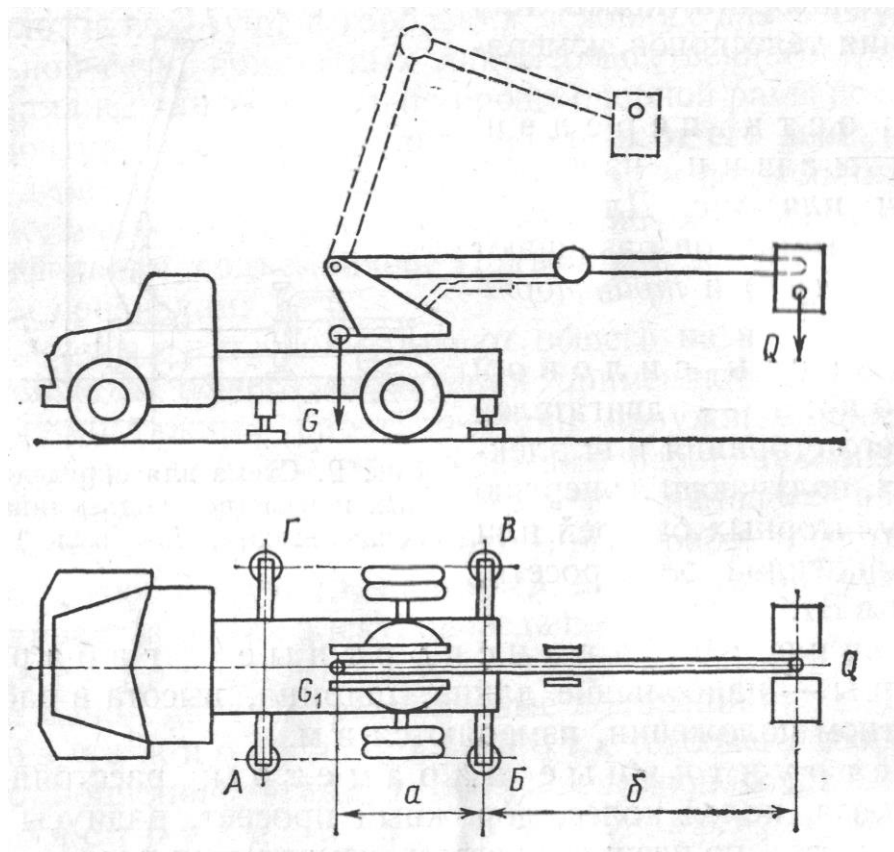


Рисунок 1.2 - Схема сил, які діють на підйомник

Якщо машина встановлена на ухилі у бік вантажу, що піднімається, то момент, що відновлює, зменшується, а перекидаючий збільшується. Стоянка на ухилі відповідає як би повороту машини на деякий кут. Чим вище від опорної поверхні розташовані центри ваги машини і вантажу, тим більше змінюються

значення моментів. При визначеному ухилі, тобто куті нахилу машини до горизонталі, що відновлює і перекидають моменти зрівнюються, а при подальшому нахилі машина перекидається.

До додаткових сил, що діють на машини і вантаж, і спрямованих на зменшення моменту, що відновлює, відносяться сили інерції, що виникають при пуску і гальмуванні механізмів підйому вантажу, повороту і пересування, а також тиск вітру. Умовно вважають, що тиск вітру діє перпендикулярно ребру перекидання і паралельно площини, на якій встановлена машина. Ця сила спрямована на машину і вантаж у бік їхнього перекидання.

Коефіцієнт вантажної стійкості з урахуванням дії сили ваги, інерційних сил і вітрового тиску для машини, що встановлено на ухилі, повинний бути не менш 1,15.

Коефіцієнт власної стійкості характеризує відношення моменту, створюваного силою ваги всіх частин машини з урахуванням ухилу площадки у бік перекидання (відносно ребра перекидання), до моменту, створюваного вітровим навантаженням, що спрямована в той самий бік. Числові значення коефіцієнтів стійкості визначаються при найбільш несприятливому положенні машини і найбільшому навантаженню. Найбільший ухил, на якому допускається робота машини, звичайно вказується в технічній характеристиці. Для більшості машин граничний ухил дорівнює 3° .

Усі машини мають необхідний запас стійкості. Утрата стійкості є звичайно результатом порушення правил експлуатації машин.

Підйомники відносяться до машин підвищеної небезпеки, тому що вони зв'язані з підйомом людей. Ці машини потрібно правильно встановлювати на робочій площадці, щоб вони зберігали стійкість.

Перед установкою машини необхідно переконатися в тім, що ухил площадки не перевищує припустимих норм і ґрунтова основа має достатню міцність. Осідання ґрунту під опорою може з'явитися причиною перекидання. Щоб установити машину в горизонтальне положення, застосовують інвентарні підкладки. Якщо як опори підйомника використовуються колеса автомобіля, то

очищають площадку від гострих предметів і перевіряють технічний стан шин і тиск повітря в них.

Не можна допускати перевантаження машини. При граничних навантаженнях варто уникати різких включень і зупинок, а також роботи на найбільших швидкостях. Особливо необхідно дотримуватися обережності при роботі поблизу стін, під перекриттям, в мережі колон і інших обмежених місцях, так як в результаті упору в перепону підйомник може втратити стійкість.

1.4 Будова підйомнику АП-15

Підйомник АП-15 (рис. 1.3) призначений в основному для електромонтажних робіт на висоті, може обслуговувати без зняття напруги електроустановки напругою до 1000 В. Найбільша робоча висота підйомника - 17 м. Вантажопідйомність колиски - 300 кг.

Підйомник змонтований на шасі автомобіля 5. Кабіна автомобіля чотиримісна, кузов укорочений із трьома відкидними бортами. На опорній рамі встановлене опорно-поворотний пристрій, на якому змонтована поворотна рама з піднімальною рамою. На піднімальній рамі закріплена телескопічна стріла 3, на якій розташована колиска 2 з порцеляновими ізоляторами 1. Чотири додаткові опори і механізм блокування ресор забезпечують стійкість підйомника при роботі.

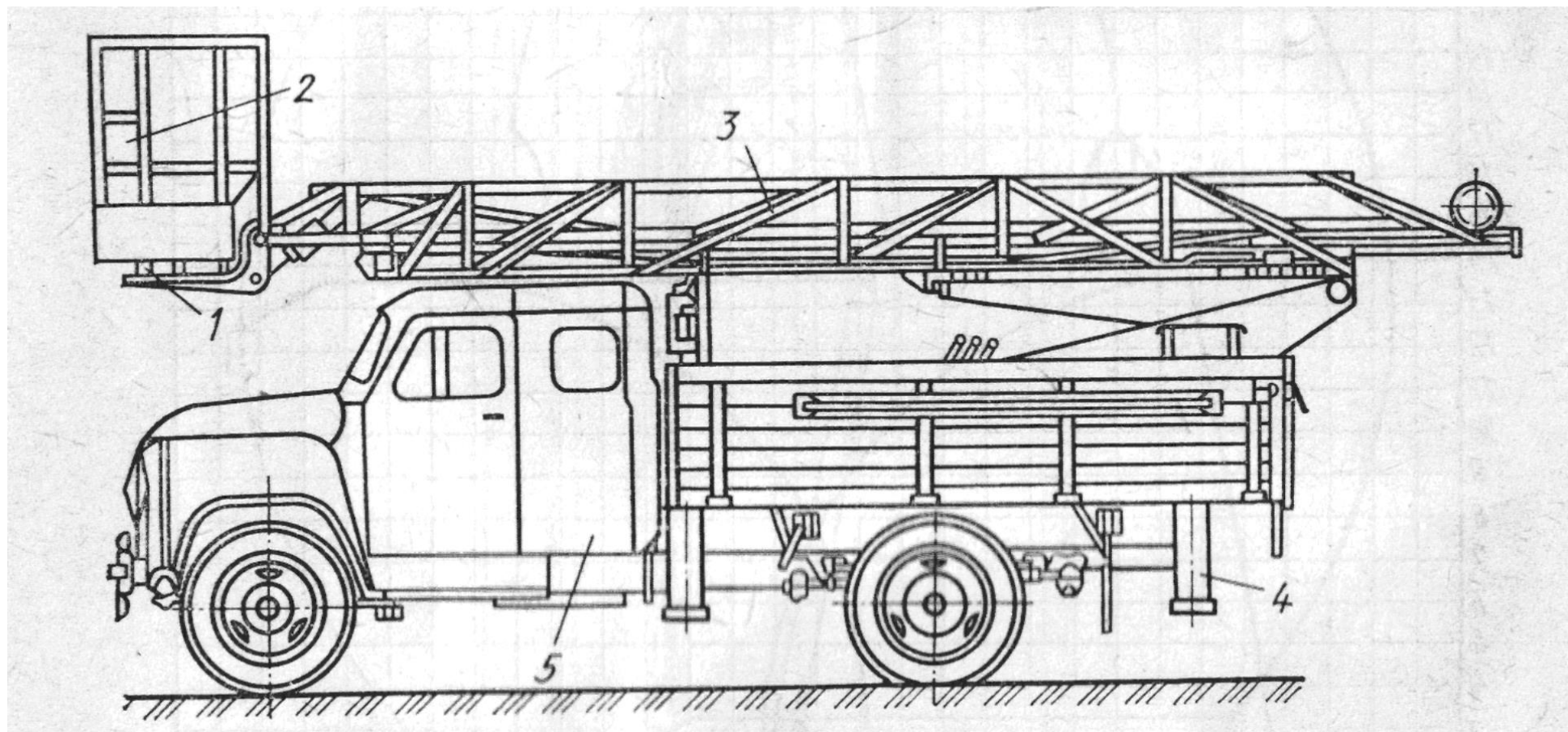
Підйомник обладнаний одним пультом. У комплекті підйомника - переносна лебідка вантажопідйомністю 100 кг, що може бути встановлена в колісці.

Підйомник може виконувати: підйом або спуск стріли на кут 75° , висунання чи всування секцій стріли, поворот вправо або вліво на кут 145° . Допускається пересування підйомника з одним робітником у колісці, якщо стріла піднята на висоту не більш 10 м і розташована над кабіною.

Телескопічна стріла складається з трьох гратчастих секцій, висунутих ланцюговою передачею і системою канатів за допомогою лебідки з гідромотором.

Колиска постійно утримується в горизонтальному положенні двома циліндрами вирівнювання.

Гідросистема приводиться в дію від насоса. Передбачено й аварійній системі з ручним насосом. На пульті є дистанційна система керування частотою обертання двигуна.



1 - ізолятори; 2 - коліска; 3 - телескопічна стріла; 4 - додаткові опори; 5 - базовий автомобіль

Рисунок 1.3 - Підйомник АП-15

1.5 Робоче обладнання підйомників

Робоче устаткування підйомника (рис. 1.4) складається з одного, двох чи трьох колін 2, 3, 6, шарнірно з'єднаних між собою, установлені на верхньому коліні робочої площадки 1 (колиски), механізмів для повороту колін у вертикальній площині системи, що стежить і додаткового устаткування.

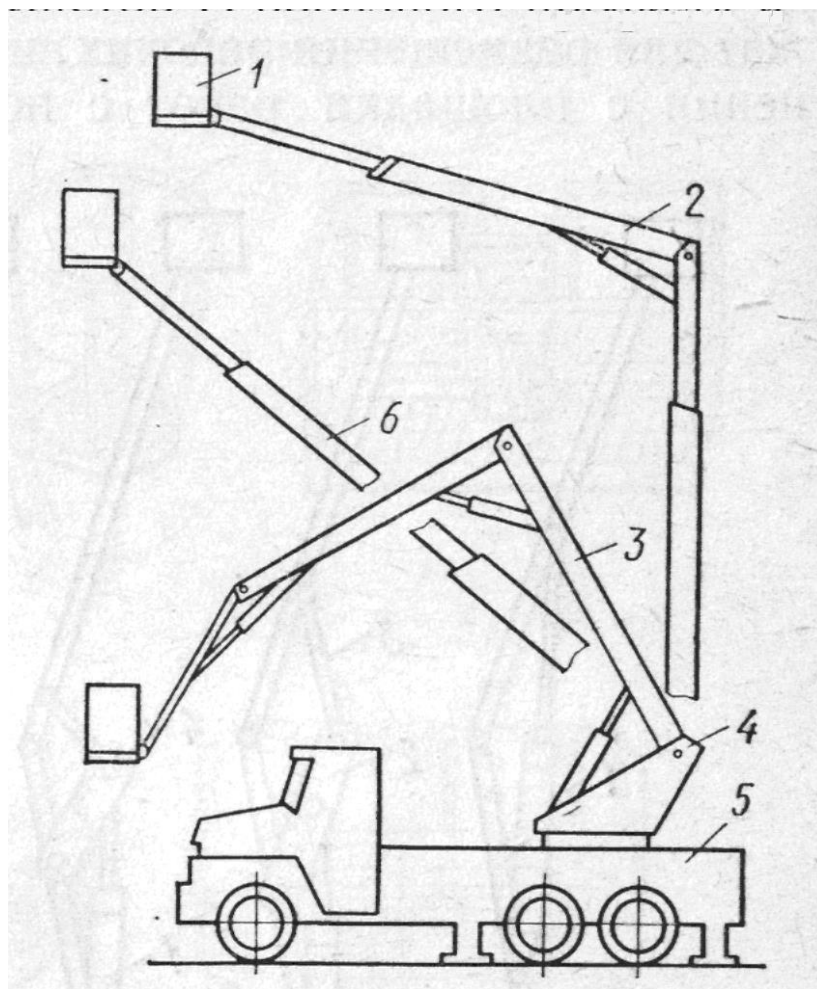
Підйомники з устаткуванням у виді одного телескопічного коліна 6 мають найменшу зону обслуговування, але ними можна подавати колиску по прямолінійній траєкторії в вікно чи проріз. Найбільш поширене устаткування у виді двох шарнірних колін. Наявність третього коліна 3 не тільки дозволяє збільшити висоту підйому при збереженні транспортної довжини, але і дає можливість за рахунок невеликого переміщення верхнього коліна малої довжини більш точно подавати колиску в монтажну зону. Устаткування з декількома телескопічними колінами 2 сполучить достоїнства перших двох типів, але має більш складну конструкцію. Робоче устаткування такого типу встановлюють на підйомниках дуже великої висоти.

Металоконструкція колін. Робоче устаткування підйомника АП-15 виконано одноколіїним телескопічної з трьох секцій гратчастої конструкції.

Робочі площадки підйомників (рис. 1.5, а...г) служать для розміщення робітників, інструмента і матеріалу. При виконанні з площадки робіт за допомогою пневматичного відбійного молотка, пістолета-пульверизатора, газового пальника чи електрозварювального апарата стиснене повітря, фарбу, газ чи електроенергію подають на площадку з землі по шлангах і проводам. Маса, що піднімається й утримуваного на робочій площадці вантажу складається з маси робітників, матеріалів, шлангів чи проводів, піднятих із землі. Робочі площадки в залежності від конструкції розраховані на підйом одного чи двох робітників.

Робочу площадку встановлюють на ізоляторах (у підйомників АП-15), що забезпечує безпечну роботу при ремонті контактної мережі під напругою, чи з'єднують з верхніми колінами без ізоляторів - у цьому випадку вони не можуть працювати під напругою.

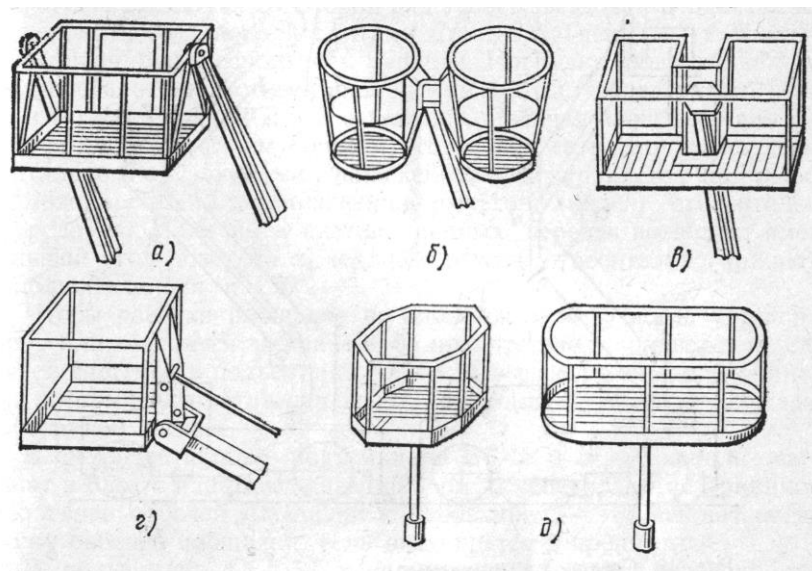
Форма робочих площадок - різна. На прямокутних у плані площадках (рис. 1.5, а, б, г) зручно розташовувати в кутах чи шухляди цебра з розчином чи інший матеріал. Подвійні площадки складаються з роздільних круглих чи прямокутних колисок (рис. 1.5, б). В одній з них знаходиться робітник, в іншій - машиніст, керуючий машиною. Деякі робочі площадки мають П-образну форму (рис. 1.5, в).



- 1 - робоча площадка (коліска); 2, 6 - телескопічні коліна;
3 - звичайне коліно; 4 - поворотна колона; 5 - опорна рама

Рисунок 1.4 - Схема робочого обладнання підйомників

У колисках підйомників зроблений проріз для входу робітників. Розміри прорізів на колінчатих підйомниках (ГОСТ 22859-77): ширина - не менш 500, висота - не менш 850 мм. Проріз перекривають поперечиною або ланцюгом, що охороняють від випадання людей і вантажів з колиски. Поручні колисок виготовляють з малотеплопроводного матеріалу чи облицьовують таким матеріалом. Підлогу колиски роблять неслизькою, по краях підлоги на висоту не менш 100 мм колиску обгороджують, щоб з її не випадав дрібний інструмент.



а ... г - робочі площадки підйомників; д – веж

Рисунок 1.5 - Робочі площадки

2 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СТІЛИ ПІДЙОМНИКІВ

2.1 Конструкції стріл існуючих підйомників

В будь-яких машинах де використовуються стрілові системи, у тому числі і в телескопічних автомобільних підйомниках, стріли повинні задовольняти умовам стійкості, надійності та зменшення маси, де останній відводиться в окремих випадках найголовніша роль. Тому стрілам намагаються надати форму бруса рівного опору. Застосування алюмінію для кранових конструкцій почалося зі стріл. Стріли роблять листовими і ґратчастими з прямолінійними і вигнутими осями з перемінним перетином по довжині. При невеликих навантаженнях і вильотах зустрічаються стріли з однієї чи труби з одного коробчастого перетину. Стріли з прямолінійною віссю — найбільше легені і конструктивно прості. Однак вони не дозволяють на мінімальному вильоті так високо піднімати громіздкі вантажі, як у випадку стріл з вигнутою віссю. Недоліками стріл з вигнутою віссю є скручування їхній від дії горизонтальних сил і вигин.

Плоскі стріли застосовуються при таких типорозмірах, коли їхня гнучкість може бути забезпечена в необхідних межах ($\lambda \leq [\lambda]$) і коли з умов стійкості пояса стріли не виходять надмірно важкими. При цьому раціональні трубчасті чи коробчасті пояса, з'єднані між собою стійками, а також пояса овального перетину, що зварені з гнутих профілів. Раціональність такої конструкції пояснюється тим, що в горизонтальній площині довжина L_0 , на якій можливе випучування, може бути досить малою, а у вертикальній площині стріла може втрачати стійкість на повній довжині. В інших випадках застосовують просторові ґратчасті чи листові стріли прямокутного чи трикутного перетину. Відомі переваги листових конструкцій призвели до зменшення застосування ґратчастих конструкцій для стріл.

2.2 Стріли конструкції решітчастого типу

У ґратчастих конструкціях розповсюджена схема ґрати головних ферм стріли складається з розкосів, що працюють тільки на розтягання. Система ґрат горизонтальної ферми часто симетричні щодо подовжньої осі стріли, тому що ґрати працюють у взаємно протилежних напрямках. Поперечні рами звичайно виконуються безраскосими. При постановці в них розкосів застосовують симетричні системи: ромбічну, напівраскосу і хрестову. Для легко навантажених стріл великої довжини ґратчаста конструкція з трубчастих елементів легше, ніж з кутовних, унаслідок кращої роботи труб на поздовжній вигин і зменшення вітрового тиску через меншу величину аеродинамічного опору. Застосування труб полегшує перехід від прямокутного поперечного переріза стріли до трикутного, котре, як показали дослідження, вигідніше. Оскільки в стрілах елементи ґрати звичайно навантажені слабо, можуть виявитися вигідними конструкції з поясами з низьколегованих сталей і ґратами зі сталі 20 (бісталеві конструкції). Аналіз перетинів стріли для плавучого крана вантажопідйомністю 250 т показав, що при тригранній формі поперечного переріза можливо одержати зниження маси на 8—10 % стосовно чотиригранної форми. Стріла оптимальних обрисів по довжині буде мати перемінну висоту перетину, що зменшується на кінцях, і ширину, що збільшується в корені. Якщо стріла працює на різних вильотах, то оптимальний обрис її повинне бути визначене з розгляду декількох вильотів.

3 СПЕЦИФІКА РОЗРАХУНКУ СТІЛ РЕШІТЧАСТОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Загальні питання розрахунку стиснутих і стиснуто-зігнутих елементів як призматичного, так і перемінного перетину по довжині розглядаються в будівельній механіці. Для визначення критичного навантаження при втраті стійкості кранових стріл у залежності від змінності моменту інерції перетину по довжині розроблено багато методик. Крім складності таких розрахунків вони, до того ж, не повною мірою враховують всі обставини роботи стріл. Тому замість перевірки їхньої стійкості доцільно проводити розрахунок їхньої міцності деформаційним способом. При цьому згинальні моменти і поперечні сили в стрілі, що виникають унаслідок деформацій, слід визначати як у площині підвісу, так і з площини підвісу. Для ґратчастих стріл доводиться визначати їхньої деформації, що значно більш трудомістке, ніж визначення деформацій балкових стріл, що у багатьох випадках обчислюються по готових формулах. Для визначення прогинів ферм можна скористатися прийомом, при якому прогин ферми визначається як прогин еквівалентної їй балки. Прогин ферми визначається деформаціями як поясів, так і ґрати. Момент інерції ферми при розгляді її як балки еквівалентної твердості визначається виходячи з рівності прогинів ферми і балки для даних умов закріплення і навантаження. Якщо момент інерції ферми визначити як момент інерції її поясів J_n , він буде перебільшений, а отже, прогин зменшений. Перебільшення моменту інерції буде тим більше, чим менше твердість ґрат. З урахуванням деформації ґрати момент інерції ферми

$$J = J_n / \mu, \quad (3.1)$$

де $\mu > 1$ — коефіцієнт, що враховує вплив деформації ґрати.

У багатьох випадках $\mu \leq 1,1$.

4 ПОРІВНЯННЯ КОНСТРУКЦІЙ СТІЛ АВТОПІДЙОМНИКІВ

4.1 Критерії порівняння

На стадії проектування.

1. Простота розрахунку.
2. Можливість оптимізації параметрів стріл.
3. Питання рівномірності.
4. Об'єми графічного матеріалу.

На стадії виготовлення.

1. Номенклатура сортаменту.
2. Чисельність складових елементів конструкції.
3. Технологічність у виготовленні.
4. Доступність та простота контролю виготовлення.

На стадії експлуатації.

1. Безпечність експлуатації.
2. Естетичні властивості.
3. Легкість обслуговування.
4. Доступність та простота контролю при експлуатації.

На стадії ремонту.

1. Складності поточних ремонтів.
2. Складності планових ремонтів.
3. Питання строків ремонту.

На стадії утилізації.

1. Можливості модернізації та використання складових.
2. Легкість утилізації.

4.2 порівняння стріл

Порівняння наводимо у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняння стріл решітчастого і коробчатого типів

Аргументи на користь стріл решітчастого типу	Аргументи на користь стріл коробчатого типу
1	2
<u>На стадії проектування</u>	
Простота розрахунку	
1. Деяка складність представлення розрахункової схеми, яка остаточно проявляється у статичній невизначеності системи. Хоча заміною вузлів – шарнірами задача полегшується, але достовірність розрахунку зменшується. 2. За умови існування досвіду подібних конструкцій та шляхом пошуку найбільш навантаженого елемента при застосуванні уніфікації, розрахунок зводиться до підбору за максимальним напруженням профілю.	1. Складання розрахункової схеми не викликає ускладнень. 2. Підбір перерізу здійснюється за найбільшим сумарним напруженням у відповідному перерізі.
Можливість оптимізації параметрів стріл	
1. Оптимізація складна через наявність великої кількості складових, а отже можлива лише за умови залучення до розрахунків ЕОМ	1. Оптимізація не складна і може бути виконана ручним розрахунком за не великою кількістю спроб (в залежності від кількості параметрів оптимізації).

Продовження табл. 4.1

1	2
зі спеціальним програмним забезпеченням. Наявність різних рішень конструкції решітки накладає специфічність кожного окремого випадку оптимізації.	Напрацьована достатня кількість методик оптимізації [8, с. 337].
Питання рівномірності	
1. Рівномірність є цілком досяжною, але має свої перепони. По-перше, збільшення номенклатури використаних профілів, по-друге, додаткове збільшення зварювальних операцій, що в свою чергу зменшить надійність машини.	1. Отримати рівномірну конструкцію досить важко, хоча можливо. Складність обумовлюється необхідністю отримати змінний осьовий момент упору з коефіцієнтом змінності як у згинаючого моменту вздовж довжини стріли.
Об'єми графічного матеріалу	
1. Переважно це складальне креслення металоконструкції, яке насичено розмірами відстаней місць з'єднань стрижнів, що безсумнівно ускладнює читання. Також креслення супроводжується не великою кількістю робочих креслень які переважно є фасонки та інші креслення рухомих вузлів, шарнірів, деталей механізму зміни виліту стріли.	1. Складальне креслення містить не велику кількість розмірів, тому простіше при читанні. Супутніх робочих креслень мало, так як переріз являє собою коробку з чотирьох листів.

Продовження табл. 4.1

1	2
<u>На стадії виготовлення</u>	
Номенклатура сортаменту	
1. У випадку використання оптимізації та впровадження ідей рівномірності кількість використаного сортаменту зростає навіть у малих конструкціях. Але, за шляхом уніфікації можна отримати достатньо малий перелік профілів, що визначається 4-ма, 8-ма номерами.	1. Ситуація значно полегшена використанням коробчастого перерізу, який при симетричному перерізі дає зменшення кількості номенклатур листового прокату до двох або навіть до одного номеру.
Чисельність складових елементів конструкції	
1. Безсумнівною відмінністю решітчастих стрілових конструкцій є велика чисельність складових, які переважно є стійки, розкоси, фасонки, планки підвищення стійкості стержнів тощо. Наявність яких у багатьох аспектах не на користь данного типу конструкції, що буде розглянуто більш докладніше далі. 2. Відміна від коробчастого закритого перерізу кількістю елементів в бік збільшення останніх певна річ зменшує надійність стріли і машини уцілому.	1. Попередній пункт безпосередньо пов'язаний з даним. І ті аргумент не втрачають сили, адже коробчастий переріз звужує кількість елементів до чотирьох. При використанні двох С-подібних гнутих профілів відповідно до двох, а при використанні труби (отриманої будь-яким методом деформування) – до одного елементу. 2. Зменшення складових елементів у порівнянні з решітчастою конструкцією іноді відіграє найпереважнішим аргументом на користь коробчастого перерізу.

Продовження табл. 4.1

1	2
Технологічність у виготовленні	
1. Під технологічністю розуміють таку властивість машини, яка характеризує їх пристосованість до робіт, що виконуються. Таким чином, листові, коробчаті та трубчасті конструкції більш технологічні за решітчасті, так як дозволяють ширше застосовувати автоматичне зварювання, автоматизувати та механізувати процеси виготовлення елементів та заготовок (випрямлення, згинання та різання).	1. Велика кількість складових елементів конструкції, багато розосереджених зварювальних з'єднань та не зручність їх виконання, все це від'ємн відгукується на технологічності виготовлення решітчастої конструкції.
Доступність та простота контролю виготовлення	
1. Трудомісткість перевірки геометричної форми пов'язана з вимірюванням відстаней між віртуальними вісями стрижнів. 2. Контроль зварювальних з'єднань погіршується розосередженням швів в просторі.	1. Обмежена кількість підконтрольних розмірів для перевірки геометричної форми. Переважно розміри лінійні, та відстані між реальними поверхнями. 2. Зварювальні шви, як правило, поздовжні та прямолінійні, з невеликою кількістю.
<u>На стадії експлуатації</u>	
Безпечність експлуатації	
1. В плані техніки безпеки експлуатації є більш небезпечні, так	1. Поверхні стріли достатньо видимі з усіх боків, і до того ж мають поверхні

Продовження табл. 4.1

1	2
як решітчаста площа ферм може бути не помічена через брак поверхонь нанесення знаків безпеки.	для попереджувальних написів типу “Стережись повороту стріли”.
Естетичні властивості	
1. Решітка має менші естетичні властивості, хоча вдалий дизайн поєднаний з конструкторською творчістю дозволяють створити технічні шедеври.	1. Коробчата конструкція складає враження суцільної, міцної стріли де на бокових стінках можна розмістити логотипи заводу – виробника, типу підйомника, що підвищить рівень естетично – інформативні якості.
Легкість обслуговування	
1. Найбільш поширеною операцією при виконанні технічного обслуговування стріли є відновлення зруйнованого або втратившого захисні властивості шару фарби під дією вологи, високих температур, кисню повітря, газів та сонячної радіації. Через складне просторове розташування стрижнів зменшується обзорність поверхонь, що звернені усередину стріли.	1. Перевага відмінної обзорності зовнішніх поверхонь стріли погіршується майже не можливістю огляду внутрішніх поверхонь, а тим гірше відновлення захисного шару фарби.
<u>На стадії ремонту</u>	
Складності поточних ремонтів	
1. Деформації стрижнів від стикання стріли з сторонніми предметами	1. Будь-які види аварійного стикання стріли можуть призвести до

Продовження табл. 4.1

1	2
легко усунути або шляхом прямого випрямлення або взагалі заміною деформованого стрижня новим.	отримання важко виправних з постановкою машини на тривалий ремонт або не виправних деформацій та втрати стріли.
Складності планових ремонтів	
1. В продовж тривалої експлуатації в металоконструкції можуть виникати тріщини, залишкові деформації тощо. Ліквідація вказаних несправностей проводиться швидко, відповідно, тріщини підготовлюють та заварюють, а погнуті елементи правлять. Відновлюють захисний шар фарби.	1. В листових конструкціях ліквідація тріщин та деформацій дуже ускладнена. По-перше, остаточно усунути тріщину неможливо, так як на її місці після ремонту виникає новий концентратор напружень і процес росту продовжується. По-друге, відновлення попередньої геометричної форми пов'язано з деформацією усієї стріли і при правлінні невідомо як поведе себе стріла в цілому.
Питання строків ремонту	
1. Строки залежать від конкретної несправності, але решітчаста конструкція, як складена, дозволяє порівняно швидко замінити несправний модуль (стрижень) і продовжити перебування на експлуатації.	1. Виконання ремонтних робіт, і строки напряму залежать від якості їх виконання, що виливається в безвідказність машини.

Кінець таблиці 4.1

1	2
<u>На стадії утилізації</u>	
Можливості модернізації та використання складових	
1. Зі скінченням строку експлуатації можливе використання зі зменшенням вантажопідймальності або пониженням групи режиму роботи після переатестації. Крім того, можливе переведення машини з більш відповідальних на менш відповідальні роботи. 2. Після розрізання ферми кутники можуть мати застосування у будівництві для не відповідальних конструкцій.	1. Коробчата конструкція дозволяє після розрізання виготовляти різноманітні сосуди коритоподібної форми, різні коробчаті тари для зберігання металевого сміття (тружка і таке інше), побутового тощо.
Легкість утилізації	
1. Ферма має при розрізанні меншу загальну довжину лінії різку у порівнянні з коробчатою конструкцією, а звідси економія часу, електроенергії або горючого газу.	1. Листова конструкція полегшує питання транспортабельності, так як при розрізанні можна закласти необхідні компактні габарити та зробити транспортні витрати на доставку до місця переплавляння мінімальними.

4.3 Аналіз результатів порівняння

Останнім часом переважна більшість стрілових конструкцій виготовляється саме коробчатого перерізу. Головними аргументами такої тенденції є:

- а) значне скорочення строків виготовлення стрілової конструкції за рахунок впровадження автоматичного зварювання;
- б) мінімальна кількість зварювальних одиниць;
- в) отримання закритого перерізу;
- г) високий опір втомі;
- д) простота розрахунку і оптимізації.

Використання саме стрілової конструкції решітчастого типу виходить на перший план коли треба отримати машину з критерієм оптимізації за масою. Така конструкція більш відповідає рівномічній, і при призначенні для кожного елементу перерізу, який він потребує, з обґрунтованим типом решітки можна отримати найбільш досконалу конструкцію ніж коробчаста.

Переваги найбільш суттєво проявляються коли вимога висоти підіймання найактуальніша. Крім рівномічності для такого роду задач важливу роль також відіграє підвітрова площа – для врахування вітрового навантаження і стійкість машини: власна та вантажна. Останні, певна річ, йдуть пліч-о-пліч з зменшенням маси стрілової системи.

5 РОЗРАХУНОК СТІЛИ ПІДЙОМНИКУ АП-17А КОНСТРУКЦІЇ РЕШІТЧАСТОГО ТИПУ

5.1 Розрахункові навантаження

З урахування відсутності класичної методики розрахунку стріл автомобільних підйомників є можливість скористатися напрацьованою методикою з розрахунку стрілових конструкцій для автомобільних, а також порталних стрілових конструкцій ферменного (решітчастого) типу. Наслідуючи цю методику розрахунку визначаємося з випадком навантаження – другий, виходячи з того, що дослідження спрямоване на визначення напруженого стану елементів металоконструкції стріли.

Другий випадок (II) — максимальні (граничні) навантаження робочого стану виникають при роботі в найбільш важких умовах експлуатації з повним (номінальним) вантажем. Ці навантаження можуть викликатися максимальними статичними опорами, різкими пусками і гальмуваннями, максимальною силою вітру робочого стану, максимальним нахилом. По цих навантаженнях провадиться розрахунок міцності і стійкості в цілому й окремих його елементах, причому вибирається найбільш небезпечна комбінація навантажень у межах дійсно можливого їхнього сполучення на основі практики розрахунків і експлуатації. Максимальні навантаження обмежуються граничними значеннями величин.

Діючі навантаження.

Вагові навантаження.

Навантаження від ваги вантажу при вантажопідймальності – 300 кг.

$$G_Q = g \cdot m_Q = 9,81 \cdot 300 = 2943 \text{ Н.} \quad (5.1)$$

Навантаження від ваги люльки, при масі люльки – 120 кг.

$$G_L = g \cdot m_L = 9,81 \cdot 120 = 1177 \text{ Н.} \quad (5.2)$$

Навантаження від власної ваги металоконструкції розподілені по вузлах і зображені на розрахунковій схемі (рис. 5.4).

Для розрахунку прикладеної до вузлів сил від власної ваги металоконструкції приймаємо усереднену питому вагу елементів (верхнього і нижнього поясів, розкосів та стійок) стріли, яка прийнята по найбільш використаному профілю [табл. 5.2]. Отже, питома поздовжня вага $q=5,31$ кг/м. Сила, що прикладається до вузла складається з ваги елементів які знаходяться зліва та над вузлом [за рисунком 5.4] та приймаються для вертикальної ферми повністю, а для горизонтальних з коефіцієнтом – 0,6 (тобто трішки більше половини – для врахування можливої нерівномірності розподілу навантаження між вузлами).

$$P_1 = g \cdot q \cdot [0,6 \cdot L_{\Sigma T} + L_{\Sigma B}] = 9,81 \cdot 5,31 \cdot [0,6 \cdot (0,45 + 0,45 + 0,45) + (0,3 + 0,78 + 0,72)] = 136 \text{ Н.} \quad (5.3)$$

Виконуючи розрахунок сил за вище викладеною методикою визначаємо невідомі сили гравітації, а результати розрахунків зводимо до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Значення сил ваги металоконструкції (рис. 5.4)

Позначення	Розрахункова довжина, м	Значення сили, Н	Позначення	Розрахункова довжина, м	Значення сили, Н
1	2	3	4	5	6
Верхнє коліно					
P_1	2,61	136	P_5	4,46	232
P_2	2,66	139	P_6	4,46	232
P_3	4,46	232	P_7	4,46	232
P_4	5,79	302	P_8	2,95	154
Среднє коліно					
P_9	2,83	147	P_{13}	4,84	252
P_{10}	4,84	252	P_{14}	4,84	252
P_{11}	6,24	325	P_{15}	2,27	118

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
P ₁₂	4,84	252			
Нижнє коліно					
P ₁₆	3,35	175	P ₁₉	5,75	300
P ₁₇	5,75	300	P ₂₀	5,75	300
P ₁₈	6,78	353	P ₂₁	3,05	159

Навантаження від ваги гідроциліндра масою – 60 кг розподіляються на дві точки закріплення (одна на кронштейні люльки, а інша на стрілі) і складає для кожної

$$P_{ГЦ}=0,5 \cdot g \cdot m_{ГЦ}=0,5 \cdot 9,81 \cdot 60=294 \text{ Н.} \quad (5.4)$$

Приймаємо: $P_{ГЦ}=300 \text{ Н.}$

Динамічні навантаження.

Виходячи з обмеження граничного прискорення кінця стріли $[a]=0,2 \text{ м/с}^2$ [13, табл. 1.25, с. 32] динамічні навантаження складуть:

* від маси вантажу

$$G_{Q \text{ дин}}=[a] \cdot m_Q=0,2 \cdot 300=60 \text{ Н.} \quad (5.5)$$

* від маси люльки

$$G_{Л \text{ дин}}=[a] \cdot m_{Л}=0,2 \cdot 120=24 \text{ Н.} \quad (5.6)$$

Отже, з врахуванням від статичного та динамічного навантаження на люльці сумарна сила складе

$$G_{\Sigma Q} = G_Q + G_{Л} + G_{Q \text{ дин}} + G_{Л \text{ дин}} = 2943 + 1177 + 60 + 24 = 4204 \text{ Н.} \quad (5.6)$$

Приймаємо: $G_{\Sigma Q} = 4210 \text{ Н.}$

Вітрові навантаження.

Визначаємо вітрове навантаження при фронтальному (тиловому) напрямку вітру.

Окремо рахуємо вітрове навантаження для стріли і люльки, передбачаючи цим заходом полегшення з питанням точок прикладання сил.

Статична складова вітрового навантаження (тобто рахуємо робочий стан машини при відсутності вітрових поштовхів)

$$P_B = p_B F_n, \quad (5.7)$$

де p_B – розподілений тиск вітру в даній зоні висоти;

F_n – розрахункова навітряна площа (нетто) конструкції.

$$F_n = \varphi \cdot F_6, \quad (5.8)$$

де φ - коефіцієнт заповнення;

$\varphi_{\text{ф}} = 0,2$ [8, с. 53] – для решітчастих ферм, що виконані з труб;

$\varphi_{\text{л}} = 1$ [8, с. 53] – для суцільних елементів (рахуючи повне за площею заповнення люльки робочим персоналом, інструментом тощо);

F_6 – площа бруutto передньої з боку грані конструкції, обмежена її контуром

* для стріли

$$F_{6 \text{ стр}} = 15 \cdot 0,6 = 9 \text{ м}^2,$$

де 15 м – висота навітряної площі, коли люлька знаходиться на максимальній висоті підйому $H=17$ м;

0,6 м – ширина середнього коліна стріли;

$$F_{п стр}=0,2 \cdot 9=1,8 \text{ м}^2;$$

* для люльки

$$F_{б л}=1,0 \cdot 1,8=1,8 \text{ м}^2,$$

де 1,0 м – ширина навітряної площі люльки;

1,8 м – висота навітряної площі люльки з працюючим на ній персоналом;

$$F_{п л}=1,0 \cdot 1,8=1,8 \text{ м}^2;$$

Розподілений тиск вітру в даній зоні висоти

$$p_v=q \cdot k \cdot c \cdot n, \quad (5.9)$$

де q – динамічний тиск (швидкісний напір) вітру;

$q=125$ Па [8, табл. I.2.11, с. 54] – для стрілових самохідних машин;

k – коефіцієнт, що враховує зміни динамічного тиску по висоті;

$k=1,18$ [8, табл. I.2.14, с. 55] – лінійно інтерпольоване для висоти $H=17$ м;

c – коефіцієнт аеродинамічної сили;

$c=1,2$ [8, табл. I.2.15, с. 56] – для ферменої конструкції з труб;

$c=1$ [8, с. 55] – для люльки з вантажем;

n – коефіцієнт перевантаження;

$n=1$ [8, с. 55] – для розрахунку випадку робочого стану машини;

* для стріли

$$p_{в\ стр}=125 \cdot 1,18 \cdot 1,2 \cdot 1=177 \text{ Па},$$

$$P_{в\ стр}=177 \cdot 1,8=319 \text{ Н}.$$

* для люльки

$$p_{в\ л}=125 \cdot 1,18 \cdot 1 \cdot 1=148 \text{ Па},$$

$$P_{в\ стр}=148 \cdot 1,8=267 \text{ Н}.$$

Снігові навантаження.

Ці навантаження можуть виникати при роботі машини у кліматичних районах, де можливе випадання снігу. Але керуючись настановами, які викладено у “Техническое описание и инструкция по эксплуатации” [Додаток А] пункт 8.14 – про заборону виконання робіт на слизькій платформі та з урахування незначної площі, на стріловій конструкції де може затримуватися сніг, цим навантаження за малість величини нехтуємо.

Сейсмічні навантаження.

Автомобільний підйомник відноситься до машин у яких один з найголовніших показників роботоздатності є стійкість. Виходячи з цього робота машини при сейсмічно небезпечних умовах виключається (з міркувань попередження втрати стійкості машиною), а отже такі навантаження в розрахунок не вводимо.

5.2 Розрахункові схеми

Виходячи з існуючої металоконструкції стріли та з урахуванням її складеності розбиваємо розрахункову схему на три схеми, відповідно розрахункову схему верхнього коліна [рис. 5.1, 5.2], середнього коліна [рис. 5.1, 5.3] і нижнього коліна [рис. 5.1, 5.4], як саме і побудована телескопічна стріла. Цим заходом ми по-перше, полегшуємо розрахунок, по-друге, підвищуємо точність розрахунку, по-третє, робимо незалежними розрахунки внутрішніх силових факторів в межах кожного з модулів розрахункових схем.

Розрахунок металоконструкції будемо вести методами будівельної механіки. При розрахунках використовуємо принцип незалежності дії сил. З метою підвищення точності розрахунку зусилля, які виникають в стрижнях решітчастої ферми треба визначати як для просторової системи. Так як розгляд у розрахунках тривимірних просторових схем призведе до значного погіршення наочності то на озброєння приймаємо метод розрахунку, що оснований на розчленуванні просторової металоконструкції на окремі плоскі системи, кожену з яких розглядаємо під дією сил у відповідних площинах.

Проаналізувавши діючі навантаження в горизонтальній площині робимо висновок про їх малість, з огляду на те, що:

1. Допустиме прискорення кінця стріли значно менше прискорення вільного падіння (для $[a]=0,2 \text{ м/с}^2$ в 49 разів), а отже рухомі маси не створять вагомих навантажень при обертанні поворотної частини;
2. Флангові підвітряні поверхні за площею значно менші фронтальних, а вітрове навантаження останніх дуже мале ($P_B=319 \text{ Н}$).

Враховуючи вище перелічені аргументи до перевірного розрахунку беремо тільки вертикальні плоскі ферми, які є найбільш навантажені.

Розрахункові схеми складаємо для двох робочих положень стріли коли люлька знаходиться в межах зони обслуговування.

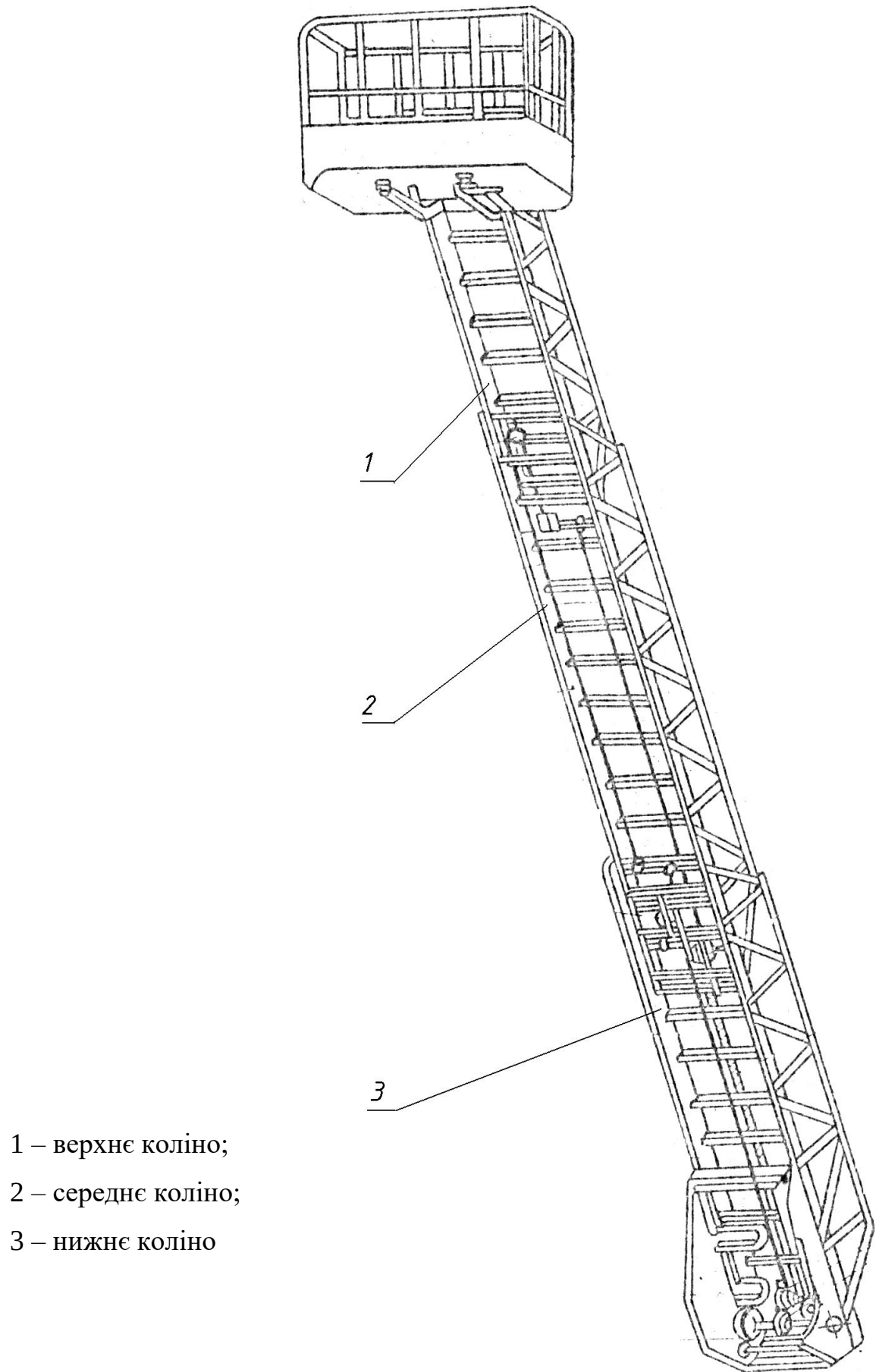


Рисунок 5.1 – Ескіз телескопічної стріли

Перший розрахунковий варіант.

Стріла знаходиться у горизонтальному положенні, люлька завантажена номінальним вантажем [рис. 5.3].

Другий розрахунковий варіант.

Стріла знаходиться у піднятому на кут 51° положенні з максимальним вильотом, люлька завантажена номінальним вантажем [рис. 5.4].

Третій розрахунковий варіант.

Стріла знаходиться у піднятому на кут 75° положенні з максимальним вильотом на цій висоті, люлька завантажена номінальним вантажем [рис. 5.4].

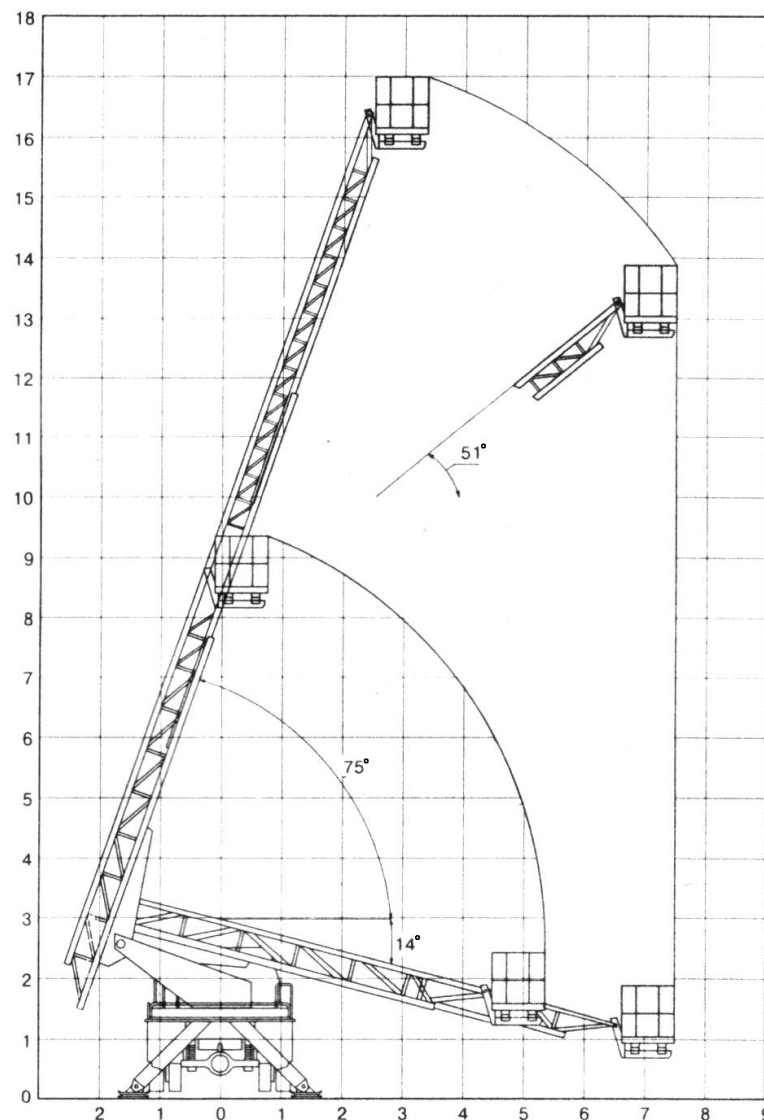
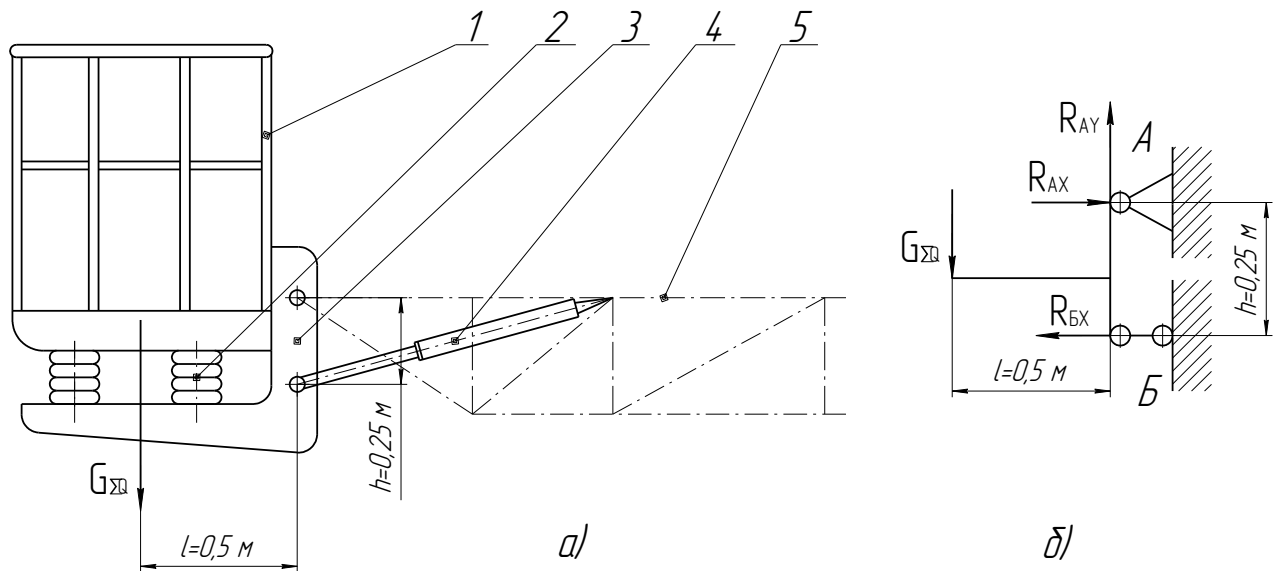


Рисунок 5.2 – Зона обслуговування автопідйомника АП-17А

Попередньо відокремимо люльку від стріли, а в'язі замінюємо реакціями за схемою (рис. 5.3).



а) конструктивна схема оголовка верхнього коліна; б) схема для розрахунку реакцій в'язів люлька-стріла

1 – огорожа люльки; 2 – ізолятор люльки; 3 – кронштейн люльки;
4 – гідроциліндр системи, що слідкує за орієнтацією люльки в вертикальному положенні; 5 – геометрична система стріли;

Рисунок 5.3 – Перехід від конструктивної схеми до розрахункової

Для визначення реакцій в'язів складаємо рівняння рівноваг.

$$\Sigma Y=0; \quad R_{AY}=G_Q+R_L \cdot \sin 12^\circ = 2530+5173 \cdot \sin 12^\circ = 3606 \text{ Н}, \quad (5.10)$$

де G_Q – частка навантаження, що сприймається однією з вертикальних ферм верхнього коліна від кронштейну люльки;

$$G_Q=0,6 \cdot G_{\Sigma Q}=0,6 \cdot 4210=2526 \text{ Н, приймаємо: } G_Q=2530 \text{ Н}; \quad (5.11)$$

$$R_J = R_{BX} / \cos 12^\circ = 5060 / \cos 12^\circ = 5173 \text{ Н.} \quad (5.10)$$

$$\underline{\Sigma M_A = 0}; \quad G_Q \cdot l_Q - R_{BX} \cdot h = 0, \text{ звідки} \quad (5.12)$$

$$R_{BX} = \frac{G_Q l_Q}{h} = \frac{2530 \cdot 0,5}{0,25} = 5060 \text{ Н.} \quad (5.13)$$

$$\underline{\Sigma X = 0}; \quad R_{AX} = -R_{BX} = -5060 \text{ Н.} \quad (5.14)$$

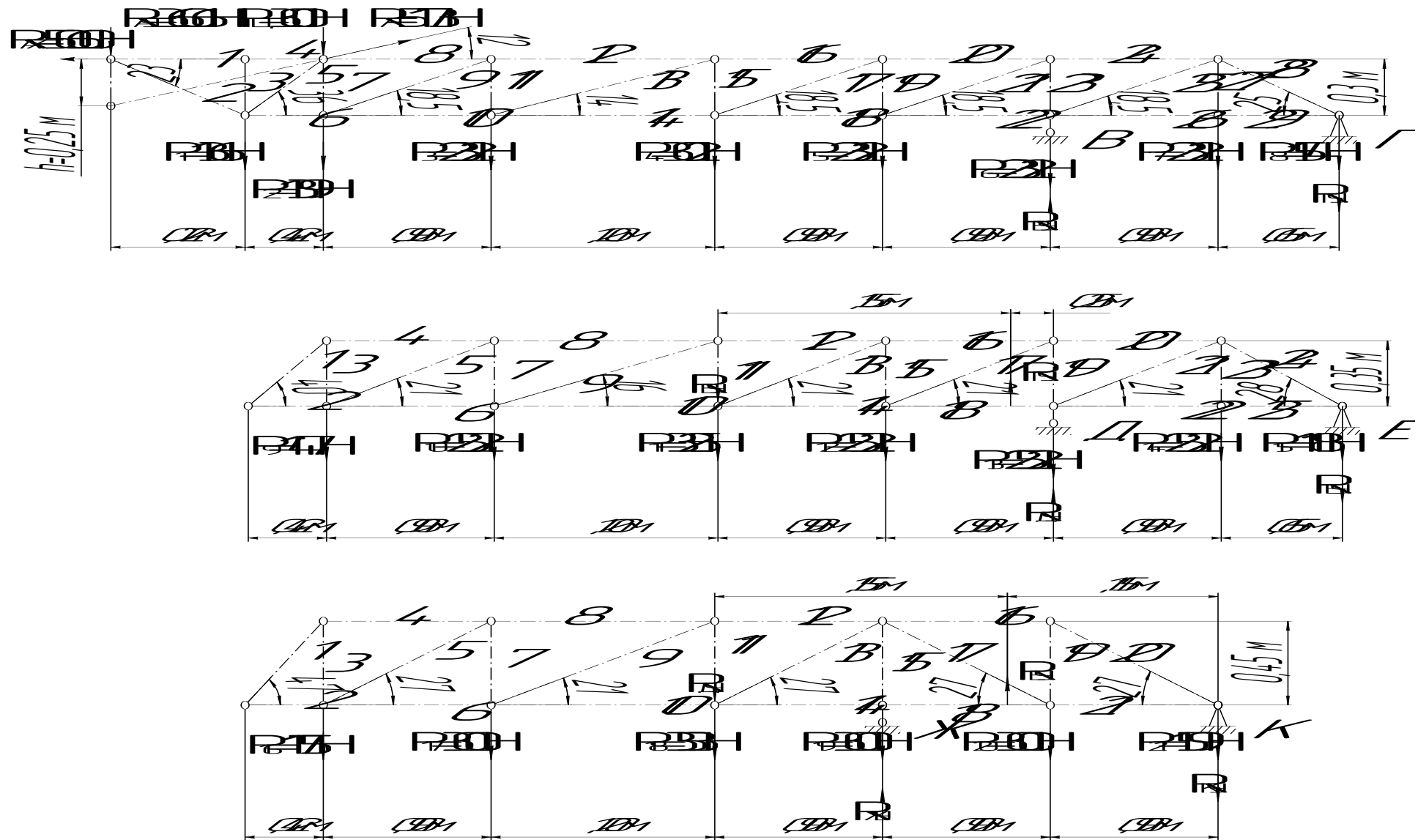


Рисунок 5.4 – Розрахункові схеми колін стріли за першим варіантом

Визначимо опорні реакції для кожної з ферм окремо складаючи рівняння рівноваг.

Опорні реакції вертикальної ферми верхнього коліна (рис. 5.4).

$$\begin{aligned} \underline{\Sigma M_{\Gamma}=0}; & G_Q \cdot 7,09 + P_1 \cdot 5,87 + (P_2 + P_{\Gamma\Gamma}) \cdot 5,45 + P_3 \cdot 4,55 + P_4 \cdot 3,35 + P_5 \cdot 2,45 + \\ & + P_6 \cdot 1,55 + P_7 \cdot 0,65 - R_{BY} \cdot 1,55 = 0. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Звідки,

$$\begin{aligned} R_{BY} &= \frac{G_Q \cdot 7,09 + P_1 \cdot 5,87 + (P_2 + P_{\Gamma\Gamma}) \cdot 5,45 + P_3 \cdot 4,55}{1,55} + \\ &+ \frac{P_4 \cdot 3,35 + P_5 \cdot 2,45 + P_6 \cdot 1,55 + P_7 \cdot 0,65}{1,55} = \\ &= \frac{2530 \cdot 7,09 + 136 \cdot 5,87 + (139 + 300) \cdot 5,45 + 232 \cdot 4,55}{1,55} + \\ &+ \frac{302 \cdot 3,35 + 232 \cdot 2,45 + 232 \cdot 1,55 + 232 \cdot 0,65}{1,55} = 15661 \text{ Н.} \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned} \underline{\Sigma M_B=0}; & G_Q \cdot 5,54 + P_1 \cdot 4,32 + (P_{\Gamma\Gamma} + P_2) \cdot 3,9 + P_3 \cdot 3 + P_4 \cdot 1,8 + P_5 \cdot 0,9 - P_7 \cdot 0,9 - \\ & - P_8 \cdot 1,8 - R_{\Gamma Y} \cdot 1,55 = 0. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Звідки,

$$\begin{aligned} R_{\Gamma Y} &= \frac{G_Q \cdot 5,54 + P_1 \cdot 4,32 + (P_2 + P_{\Gamma\Gamma}) \cdot 3,9 + P_3 \cdot 3}{1,55} + \\ &+ \frac{P_4 \cdot 1,8 + P_5 \cdot 0,9 - P_7 \cdot 0,9 - P_8 \cdot 1,8}{1,55} = \end{aligned}$$

$$= \frac{2530 \cdot 5,54 + 136 \cdot 4,32 + (139 + 300) \cdot 3,9 + 232 \cdot 3}{1,55} +$$

$$+ \frac{302 \cdot 1,8 + 232 \cdot 0,9 - 232 \cdot 0,9 - 154 \cdot 1,55}{1,55} = 11172 \text{ Н} \quad (5.18)$$

Виконаємо перевірку.

$$\underline{\Sigma Y=0}; \quad G_Q + P_1 + P_2 + P_{ГЦ} + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + R_{Гу} - R_{Ву} = \quad (5.19)$$

$$= 2530 + 136 + 139 + 300 + 232 + 302 + 232 + 232 + 232 + 154 + 11172 - 15661 = 0.$$

Перевірка підтверджує правильність розрахунку.

Опорні реакції вертикальної ферми середнього коліна (рис. 5.4).

$$\underline{\Sigma M_E=0}; \quad P_9 \cdot 5,45 + P_{10} \cdot 4,55 + (R_{Ву} + P_{11}) \cdot 3,35 + P_{12} \cdot 2,45 - R_{Гу} \cdot 1,8 +$$

$$+ P_{13} \cdot 1,55 + P_{14} \cdot 0,65 - R_{Ду} \cdot 1,55 = 0. \quad (5.20)$$

Звідки,

$$R_{Ду} = \frac{P_9 \cdot 5,45 + P_{10} \cdot 4,55 + (R_{Ву} + P_{11}) \cdot 3,35}{1,55} +$$

$$+ \frac{P_{12} \cdot 2,45 - R_{Гу} \cdot 1,8 + P_{13} \cdot 1,55 + P_{14} \cdot 0,65}{1,55} =$$

$$= \frac{147 \cdot 5,45 + 252 \cdot 4,55 + (15661 + 325) \cdot 3,35}{1,55} +$$

$$+ \frac{252 \cdot 2,45 - 11172 \cdot 1,8 + 252 \cdot 1,55 + 252 \cdot 0,65}{1,55} = 23589 \text{ Н.} \quad (5.21)$$

$$\underline{\Sigma M_E=0}; \quad P_9 \cdot 3,9 + P_{10} \cdot 3 + (R_{Ву} + P_{11}) \cdot 1,8 + P_{12} \cdot 0,9 - R_{Гу} \cdot 0,25 - P_{14} \cdot 0,9 - P_{15} \cdot 1,55 - R_{Еу} \cdot 1,55 = 0. \quad (5.22)$$

Звідки,

$$\begin{aligned}
 R_{EY} &= \frac{P_9 \cdot 3,9 + P_{10} \cdot 3 + (R_{BY} + P_{11}) \cdot 1,8}{1,55} + \\
 &+ \frac{P_{12} \cdot 0,9 - R_{ГY} \cdot 0,25 - P_{14} \cdot 0,9 - P_{15} \cdot 1,55}{1,55} = \\
 &= \frac{147 \cdot 3,9 + 252 \cdot 3 + (15661 + 325) \cdot 1,8}{1,55} + \\
 &+ \frac{252 \cdot 0,9 - 11172 \cdot 0,25 - 252 \cdot 0,9 - 118 \cdot 1,55}{1,55} = 17502 \text{ Н.} \quad (5.23)
 \end{aligned}$$

Виконаємо перевірку.

$$\begin{aligned}
 \underline{\Sigma Y=0}; \quad & P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15} - R_{ГY} + R_{BY} + R_{EY} - R_{ДY} = \quad (5.24) \\
 & = 147 + 252 + 325 + 252 + 252 + 252 + 118 - 11172 + 15661 + 17502 - 23589 = 0.
 \end{aligned}$$

Перевірка підтверджує правильність розрахунку.

Опорні реакції вертикальної ферми нижнього коліна (рис. 5.4).

$$\underline{\Sigma M_K=0}; \quad P_{16} \cdot 4,8 + P_{17} \cdot 3,9 + (R_{ДY} + P_{18}) \cdot 2,7 + P_{19} \cdot 1,8 - R_{EY} \cdot 1,15 + P_{20} \cdot 0,9 - R_{ЖY} \cdot 1,8 = 0. \quad (5.25)$$

Звідки,

$$\begin{aligned}
 R_{ЖY} &= \frac{P_{16} \cdot 4,8 + P_{17} \cdot 3,9 + (R_{ДY} + P_{18}) \cdot 2,7}{1,8} + \\
 &+ \frac{P_{19} \cdot 1,8 - R_{EY} \cdot 1,15 + P_{20} \cdot 0,9}{1,8} = \\
 &= \frac{175 \cdot 4,8 + 300 \cdot 3,9 + (23589 + 353) \cdot 2,7}{1,55} + \\
 &+ \frac{300 \cdot 1,8 - 17502 \cdot 1,15 + 300 \cdot 0,9}{1,8} = 26297 \text{ Н.} \quad (5.26)
 \end{aligned}$$

$$\underline{\Sigma M_J=0}; P_{16} \cdot 3 + P_{17} \cdot 2,1 + (R_{ДУ} + P_{18}) \cdot 0,9 + R_{ЕУ} \cdot 0,65 - P_{20} \cdot 0,9 - P_{21} \cdot 1,8 - R_{КУ} \cdot 1,8 = 0. \quad (5.27)$$

Звідки,

$$\begin{aligned} R_{КУ} &= \frac{P_{16} \cdot 3 + P_{17} \cdot 2,1 + (R_{ДУ} + P_{18}) \cdot 0,9}{1,8} + \\ &+ \frac{R_{ЕУ} \cdot 0,65 - P_{20} \cdot 0,9 - P_{21} \cdot 1,8}{1,8} = \\ &= \frac{175 \cdot 3 + 300 \cdot 2,1 + (23589 + 353) \cdot 0,9}{1,8} + \\ &+ \frac{17502 \cdot 0,65 - 300 \cdot 0,9 - 159 \cdot 1,8}{1,8} = 18623 \text{ Н.} \end{aligned} \quad (5.28)$$

Виконаємо перевірку.

$$\begin{aligned} \underline{\Sigma Y=0}; \quad P_{16} + P_{17} + P_{18} + P_{19} + P_{20} + P_{21} + R_{ДУ} - R_{ЖУ} - R_{ЕУ} + R_{КУ} &= \\ = 175 + 300 + 353 + 300 + 300 + 159 + 23589 - 26297 - 17502 + 18623 &= 0. \end{aligned} \quad (5.29)$$

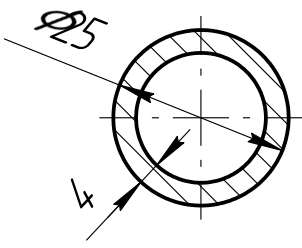
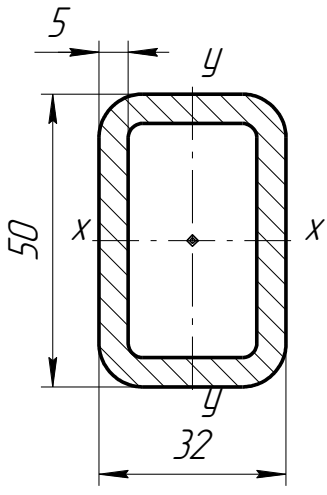
Перевірка підтверджує правильність розрахунку.

Викладені розрахунки опорних реакцій для кожної з вертикальних ферм колін, які складають телескопічну стрілу, дійсні для горизонтального розташування останньої, коли не виникає додаткова складова, що діє вздовж стріли і викликана від роботи поліспасти механізму висування - засування стріли. В інші розрахункових варіантах, коли виникає поздовжня складова, з урахуванням будови механізму висування - засування стріли, вона прикладається у точках Г і Е (рис. 5.4) як штовхаюча, та в крайніх лівих вузлах (за рис. 5.4), як реакції від штовхаючих.

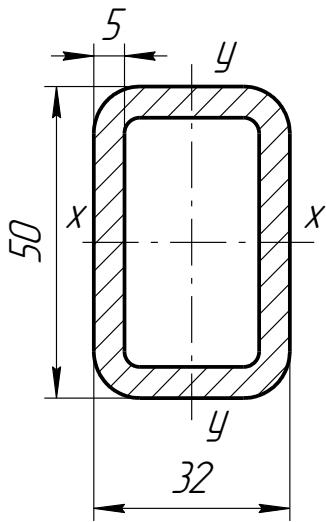
5.3 Сортамент стрілової конструкції

Використаний для виготовлення решітчастої телескопічної конструкції сортамент зводимо у таблицю 5.2.

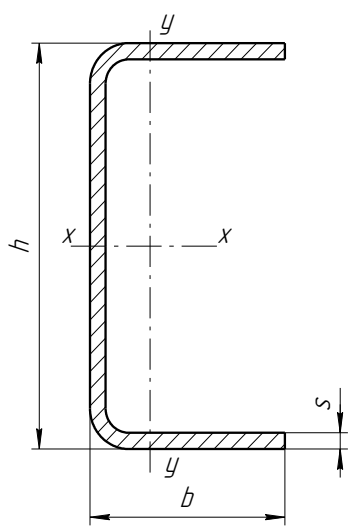
Таблиця 5.2 – Сортамент стрілової конструкції

Параметр	Позначення і розмірність	Значення
1	2	3
Труба $\frac{25 \times 3 \text{ ГОСТ } 8732-75}{09Г2С \text{ ГОСТ } 8733-74}$		
		
Площа перерізу	$F, \text{ м}^2$	0,000264
Осьовий момент інерції	$I, \text{ м}^4$	$0,0151 \cdot 10^{-6}$
Радіус інерції	$i, \text{ м}$	$7,56 \cdot 10^{-3}$
Питома вага перерізу	$q, \text{ кг/м}$	2,07
Труба $\frac{25 \times 32 \times 4 \text{ ГОСТ } 8639-82}{09Г2С \text{ ГОСТ } 8733-74}$		
		

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
Площа перерізу	$F, \text{м}^2$	0,000354
Осьовий момент інерції	$I_x, \text{м}^4$	$0,040 \cdot 10^{-6}$
	$I_y, \text{м}^4$	$0,0267 \cdot 10^{-6}$
Радіус інерції	$i_x, \text{м}$	$10,6 \cdot 10^{-3}$
	$i_y, \text{м}$	$8,68 \cdot 10^{-3}$
Питома вага перерізу	$q, \text{кг/м}$	2,78
Труба $32 \times 50 \times 5$ ГОСТ 8639-82 $09Г2С$ ГОСТ 8733-74		
		
Площа перерізу	$F, \text{м}^2$	0,000677
Осьовий момент інерції	$I_x, \text{м}^4$	$0,192 \cdot 10^{-6}$
	$I_y, \text{м}^4$	$0,0916 \cdot 10^{-6}$
Радіус інерції	$i_x, \text{м}$	$16,8 \cdot 10^{-3}$
	$i_y, \text{м}$	$11,6 \cdot 10^{-3}$
Питома вага перерізу	$q, \text{кг/м}$	5,31

Кінець таблиці 5.2

1	2	3	
			
Швеллер $\frac{80 \times 50 \times 4 \text{ ГОСТ 8278-75}}{09Г2С \text{ ГОСТ 11474-76}}$, Швеллер $\frac{100 \times 50 \times 4 \text{ ГОСТ 8278-75}}{09Г2С \text{ ГОСТ 11474-76}}$			
Виконання	-	1	2
Розміри	h, мм	80	100
	b, мм	50	50
	s, мм	4	4
Площа перерізу	F, м ²	0,000660	0,000740
Осьовий момент інерції	I _x , м ⁴	0,6598·10 ⁻⁶	1,11·10 ⁻⁶
	I _y , м ⁴	0,166·10 ⁻⁶	0,180·10 ⁻⁶
Осьовий момент опору	W _x , м ³	16,5·10 ⁻⁶	22,3·10 ⁻⁶
	W _y , м ³	4,88·10 ⁻⁶	5,07·10 ⁻⁶
Радіус інерції	i _x , м	31,6·10 ⁻³	38,8·10 ⁻³
	i _y , м	15,8·10 ⁻³	15,6·10 ⁻³
Питома вага перерізу	q, кг/м	5,18	5,81

5.4 Розрахунок методом вирізання вузлів

При визначенні зусиль у стрижнях виділяємо перетинами окремі частини ферми чи вузли ферм, а потім розглядаємо умови їхньої рівноваги під дією зовнішніх сил і зусиль у розсічених стрижнях. Розсічення робимо так, щоб максимально спростити розрахунок і по можливості усунути спільне рішення системи рівнянь з декількома невідомими. Найбільше раціонально проводити перетин так, щоб у кожне рівняння ввійшло тільки одне обумовлене невідоме.

Перед тим як приступити до визначення зусиль у стрижнях, попередньо виключаємо нульові стрижні, якщо вони є у фермі, тобто стрижні, у яких зусилля свідомо дорівнюють нулю.

Суть методу. Метод заснований на розгляді відсічених вузлів, що знаходяться в рівновазі під дією зовнішніх сил, і зусиль у розсічених стрижнях. Для простих ферм, що утворені із шарнірних трикутників, вирізання вузлів може вироблятися в тій же послідовності, у якій виконувалося утворення ферми. У цьому випадку в кожному знову вирізаному вузлі буде не більш двох невідомих, котрі легко можуть бути визначені за допомогою проєкцій усіх сил на дві довільні осі. Спочатку передбачається, що всі стрижні розтягнуті, тобто сили спрямовані від вузлів. Якщо в результаті рішення рівняння шукане зусилля виявиться зі знаком мінус, то стрижень буде стиснути (зусилля спрямоване до вузла).

Розрахунок методом вирізання вузлів ведемо для першого випадку за схемами наведеними на рисунку 5.4, а також за рисунками, що складаємо для кожного вузла, який розглядаємо. При цьому, на рисунках зображуємо вісі OX та OY , відносно яких будемо розглядати рівновагу, зусилля та сили з позначенням і кути між додатними напрямками і віссю OY .

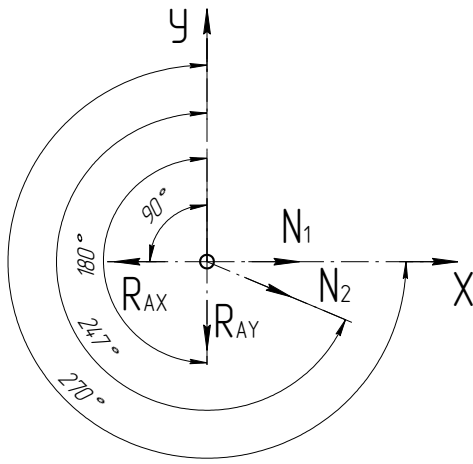


Рисунок 5.5 – Вузол 1

$$\Sigma X = N_1 \cdot \sin 270^\circ + N_2 \cdot \sin 247^\circ + R_{AX} \cdot \sin 90^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = R_{AY} \cdot \cos 180^\circ + N_2 \cdot \cos 247^\circ = 0.$$

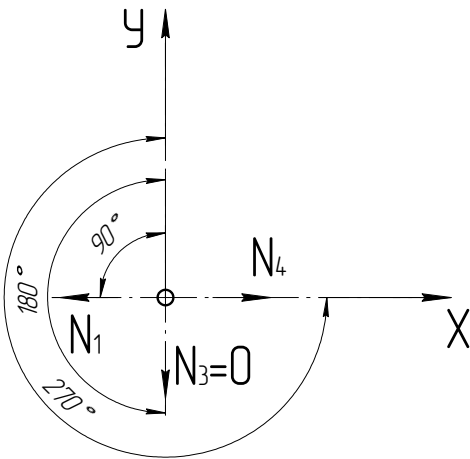
Звідки,

$$N_2 = -\frac{R_{AY} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 247^\circ} =$$

$$= -\frac{3606 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 247^\circ} = -9229 \text{ Н.}$$

$$N_1 = -\frac{R_{AX} \cdot \sin 90^\circ + N_2 \cdot \sin 247^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= -\frac{5060 \cdot \sin 90^\circ - 9229 \cdot \sin 247^\circ}{\sin 270^\circ} = 13555 \text{ Н.}$$



$$\Sigma X = N_4 - N_1 = 0;$$

$$\Sigma Y = N_3 = 0.$$

Звідки,

 $N_3 = 0$ – є нульовим стрижнем;

$$N_4 = N_1 = 13555 \text{ Н.}$$

Рисунок 5.6 – Вузол 2

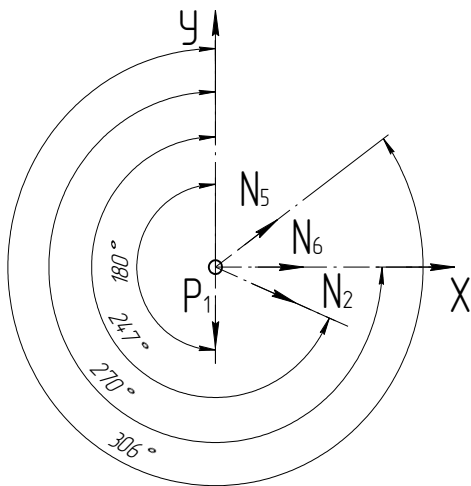


Рисунок 5.7 – Вузол 3

$$\Sigma X = N_6 \sin 270^\circ + N_2 \cdot \sin 247^\circ + N_5 \cdot \sin 306^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_1 \cdot \cos 180^\circ + N_2 \cdot \cos 247^\circ + N_5 \cdot \cos 306^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_5 = -\frac{P_1 \cdot \cos 180^\circ + N_2 \cdot \cos 247^\circ}{\cos 306^\circ} =$$

$$= -\frac{136 \cdot \cos 180^\circ + 9229 \cdot \cos 247^\circ}{\cos 306^\circ} = 6366 \text{ Н.}$$

$$N_6 = -\frac{N_5 \cdot \sin 306^\circ + N_2 \cdot \sin 247^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= -\frac{6366 \cdot \sin 306^\circ + 9229 \cdot \sin 247^\circ}{\sin 270^\circ} = -13646 \text{ Н.}$$

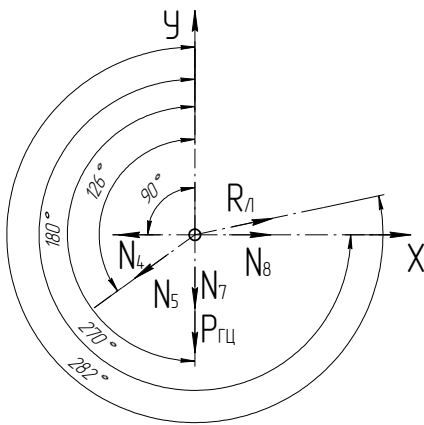


Рисунок 5.8 – Вузол 4

$$\Sigma X = N_8 \sin 270^\circ + N_4 \cdot \sin 90^\circ + N_5 \cdot \sin 126^\circ + R_L \cdot \sin 282^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = R_L \cdot \cos 282^\circ + N_7 \cdot \cos 180^\circ + N_5 \cdot \cos 126^\circ + P_{ГЦ} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_7 = - \frac{P_{ГЦ} \cdot \cos 180^\circ + N_5 \cdot \cos 126^\circ}{\cos 180^\circ} -$$

$$\frac{R_L \cdot \cos 282^\circ}{\cos 180^\circ} =$$

$$= - \frac{300 \cdot \cos 180^\circ + 6366 \cdot \cos 126^\circ}{\cos 180^\circ} -$$

$$- \frac{5173 \cdot \cos 282^\circ}{\cos 180^\circ} = -2966 \text{ Н.}$$

$$N_8 = - \frac{N_5 \cdot \sin 126^\circ + N_4 \cdot \sin 90^\circ + R_L \cdot \sin 282^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= - \frac{6366 \cdot \sin 126^\circ + 13555 \cdot \sin 90^\circ + 5173 \cdot \sin 282^\circ}{\sin 270^\circ} = 13645 \text{ Н.}$$

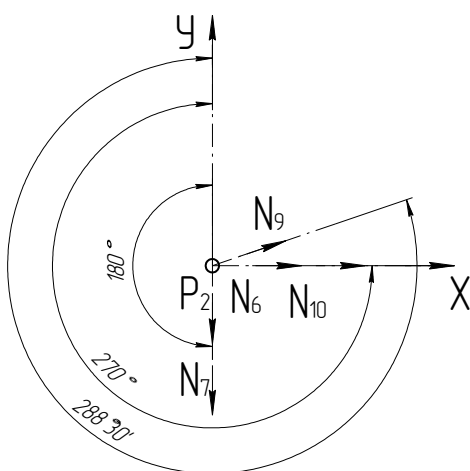


Рисунок 5.9 – Вузол 5

$$\Sigma X = N_9 \sin 288,5^\circ + N_6 \cdot \sin 270^\circ + N_{10} \cdot \sin 270^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_2 \cdot \cos 180^\circ + N_7 \cdot \cos 180^\circ + N_9 \cdot \cos 288,5^\circ = 0.$$

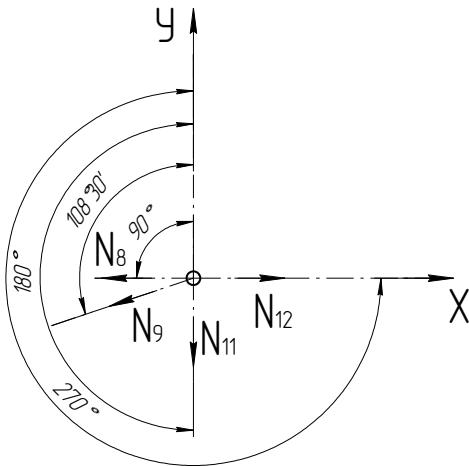
Звідки,

$$N_9 = - \frac{P_2 \cdot \cos 180^\circ + N_7 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} =$$

$$= - \frac{139 \cdot \cos 180^\circ + 2966 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} = 9786 \text{ Н.}$$

$$N_{10} = -\frac{N_9 \cdot \sin 288,5^\circ + N_6 \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= -\frac{9786 \cdot \sin 288,5^\circ + 13646 \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} = -22926 \text{ Н.}$$



$$\Sigma X = N_{12} \cdot \sin 270^\circ + N_8 \cdot \sin 90^\circ + N_9 \cdot \sin 108,5^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = N_9 \cdot \cos 108,5^\circ + N_{11} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

Звідки,

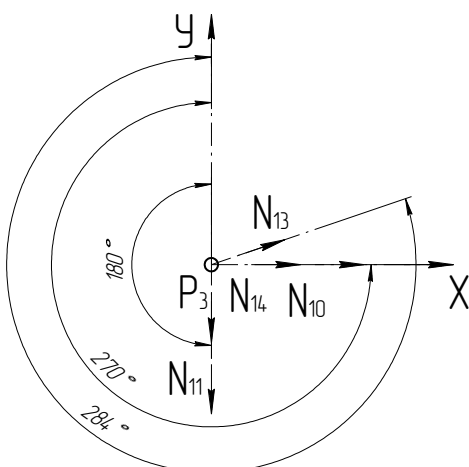
$$N_{11} = -\frac{N_9 \cdot \cos 108,5^\circ}{\cos 180^\circ} =$$

$$= -\frac{9786 \cdot \cos 108,5^\circ}{\cos 180^\circ} = -3105 \text{ Н.}$$

Рисунок 5.10 – Вузол 6

$$N_{12} = -\frac{N_8 \cdot \sin 90^\circ + N_9 \cdot \sin 108,5^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= -\frac{13645 \cdot \sin 90^\circ + 9786 \cdot \sin 108,5^\circ}{\sin 270^\circ} = 22925 \text{ Н.}$$



$$\Sigma X = N_{13} \sin 284^\circ + N_{14} \cdot \sin 270^\circ + N_{10} \cdot \sin 270^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_3 \cdot \cos 180^\circ + N_{11} \cdot \cos 180^\circ + N_{13} \cdot \cos 284^\circ = 0.$$

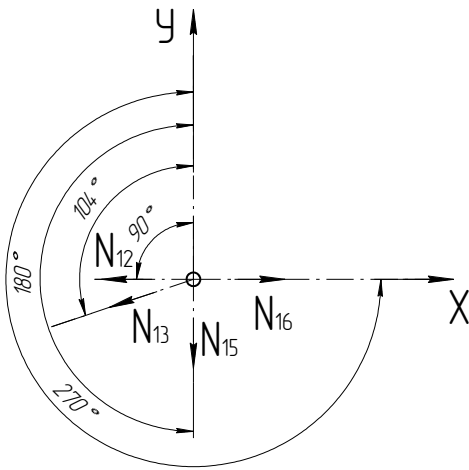
Звідки,

$$N_{13} = -\frac{P_3 \cdot \cos 180^\circ + N_{11} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 284^\circ} =$$

Рисунок 5.11 – Вузол 7

$$= -\frac{232 \cdot \cos 180^\circ + 3105 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 284^\circ} = 13794 \text{ Н.}$$

$$\begin{aligned} N_{14} &= -\frac{N_{13} \cdot \sin 284^\circ + N_{10} \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} = \\ &= -\frac{13794 \cdot \sin 284^\circ + 22926 \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} = -36310 \text{ Н.} \end{aligned}$$



$$\Sigma X = N_{16} \cdot \sin 270^\circ + N_{12} \cdot \sin 90^\circ + N_{13} \cdot \sin 104^\circ = 0;$$

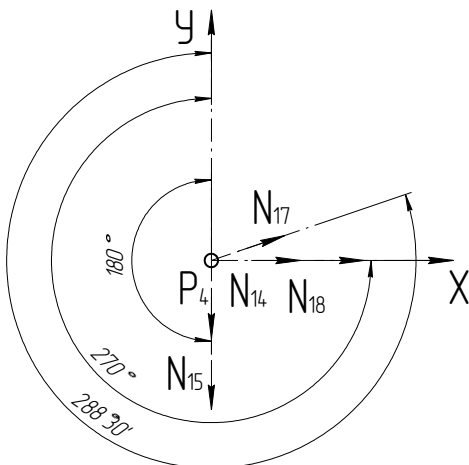
$$\Sigma Y = N_{13} \cdot \cos 104^\circ + N_{15} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

Звідки,

$$\begin{aligned} N_{15} &= -\frac{N_{13} \cdot \cos 104^\circ}{\cos 180^\circ} = \\ &= -\frac{13794 \cdot \cos 104^\circ}{\cos 180^\circ} = -3337 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Рисунок 5.12 – Вузол 8

$$\begin{aligned} N_{16} &= -\frac{N_{12} \cdot \sin 90^\circ + N_{13} \cdot \sin 104^\circ}{\sin 270^\circ} = \\ &= -\frac{22925 \cdot \sin 90^\circ + 13794 \cdot \sin 104^\circ}{\sin 270^\circ} = 36309 \text{ Н.} \end{aligned}$$



$$\Sigma X = N_{17} \sin 288,5^\circ + N_{14} \cdot \sin 270^\circ + N_{18} \cdot \sin 270^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_4 \cdot \cos 180^\circ + N_{15} \cdot \cos 180^\circ + N_{17} \cdot \cos 288,5^\circ = 0.$$

Звідки,

Рисунок 5.13 – Вузол 9

$$N_{17} = - \frac{P_4 \cdot \cos 180^\circ + N_{15} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} =$$

$$= - \frac{302 \cdot \cos 180^\circ + 3337 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} = 11468 \text{ Н.}$$

$$N_{18} = - \frac{N_{17} \cdot \sin 288,5^\circ + N_{14} \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= - \frac{11468 \cdot \sin 288,5^\circ + 36310 \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} = -47185 \text{ Н.}$$

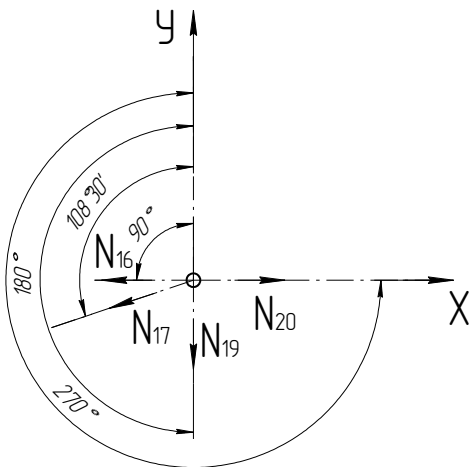


Рисунок 5.14 – Вузол 10

$$\Sigma X = N_{16} \cdot \sin 90^\circ + N_{20} \cdot \sin 270^\circ + N_{17} \cdot \sin 108,5^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = N_{17} \cdot \cos 108,5^\circ + N_{19} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_{19} = - \frac{N_{17} \cdot \cos 108,5^\circ}{\cos 180^\circ} =$$

$$= - \frac{11468 \cdot \cos 108,5^\circ}{\cos 180^\circ} = -3639 \text{ Н.}$$

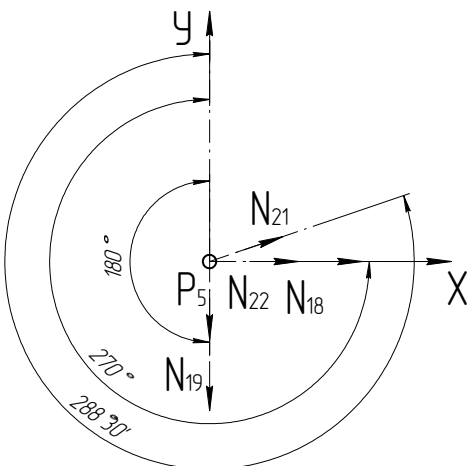


Рисунок 5.15 – Вузол 11

$$N_{20} = - \frac{N_{16} \cdot \sin 90^\circ + N_{17} \cdot \sin 108,5^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= - \frac{36309 \cdot \sin 90^\circ + 11468 \cdot \sin 108,5^\circ}{\sin 270^\circ} = 47184 \text{ Н.}$$

$$\Sigma X = N_{21} \sin 288,5^\circ + N_{22} \cdot \sin 270^\circ + N_{18} \cdot \sin 270^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_5 \cdot \cos 180^\circ + N_{19} \cdot \cos 180^\circ + N_{21} \cdot \cos 288,5^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_{21} = -\frac{P_5 \cdot \cos 180^\circ + N_{19} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} =$$

$$= -\frac{232 \cdot \cos 180^\circ + 3639 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} = 12199 \text{ Н.}$$

$$N_{22} = -\frac{N_{21} \cdot \sin 288,5^\circ + N_{18} \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= -\frac{12199 \cdot \sin 288,5^\circ + 47185 \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} = -58754 \text{ Н.}$$

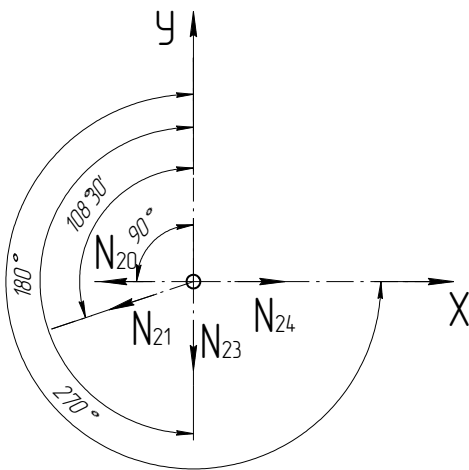


Рисунок 5.16 – Вузол 12

$$\Sigma X = N_{20} \cdot \sin 90^\circ + N_{24} \cdot \sin 270^\circ + N_{21} \cdot \sin 108,5^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = N_{21} \cdot \cos 108,5^\circ + N_{23} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_{23} = -\frac{N_{21} \cdot \cos 108,5^\circ}{\cos 180^\circ} =$$

$$= -\frac{12199 \cdot \cos 108,5^\circ}{\cos 180^\circ} = -3871 \text{ Н.}$$

$$N_{24} = -\frac{N_{20} \cdot \sin 90^\circ + N_{21} \cdot \sin 108,5^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= -\frac{47184 \cdot \sin 90^\circ + 12199 \cdot \sin 108,5^\circ}{\sin 270^\circ} = 58753 \text{ Н.}$$

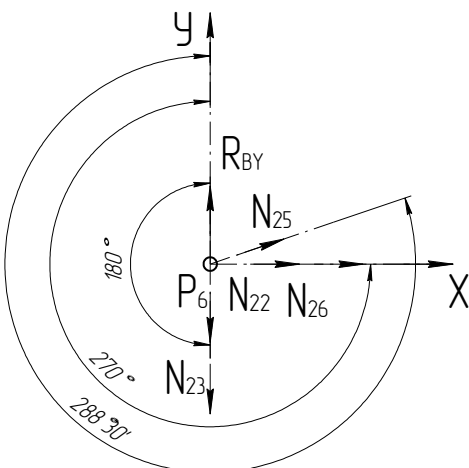


Рисунок 5.17 – Вузол 13

$$\Sigma X = N_{25} \sin 288,5^\circ + N_{22} \cdot \sin 270^\circ + N_{26} \cdot \sin 270^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_6 \cdot \cos 180^\circ + N_{23} \cdot \cos 180^\circ + N_{25} \cdot \cos 288,5^\circ +$$

$$+ R_{BY} \cdot \cos 0^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_{25} = - \frac{P_6 \cdot \cos 180^\circ + N_{23} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} -$$

$$- \frac{R_{BY} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} = - \frac{232 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 288,5^\circ} -$$

$$- \frac{3871 \cdot \cos 180^\circ + 15661}{\cos 288,5^\circ} = -36426 \text{ Н.}$$

$$N_{26} = - \frac{N_{25} \cdot \sin 288,5^\circ + N_{22} \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} =$$

$$= - \frac{-36426 \cdot \sin 288,5^\circ + 58754 \cdot \sin 270^\circ}{\sin 270^\circ} = -242$$

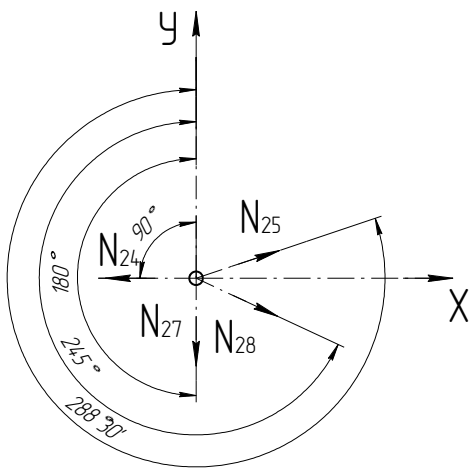


Рисунок 5.18 – Вузол 14

Звідки,

$$N_{27} = - \frac{N_{28} \cdot \cos 245^\circ + N_{25} \cdot \cos 288,5^\circ}{\cos 180^\circ} =$$

$$= - \frac{26712 \cdot \cos 245^\circ + 36426 \cdot \cos 288,5^\circ}{\cos 180^\circ} =$$

$$= -232 \text{ Н.}$$

$$N_{28} = - \frac{N_{24} \cdot \sin 90^\circ + N_{25} \cdot \sin 288,5^\circ}{\sin 245^\circ} =$$

$$= - \frac{58753 \cdot \sin 90^\circ + 36426 \cdot \sin 288,5^\circ}{\sin 245^\circ} = 26712 \text{ Н.}$$

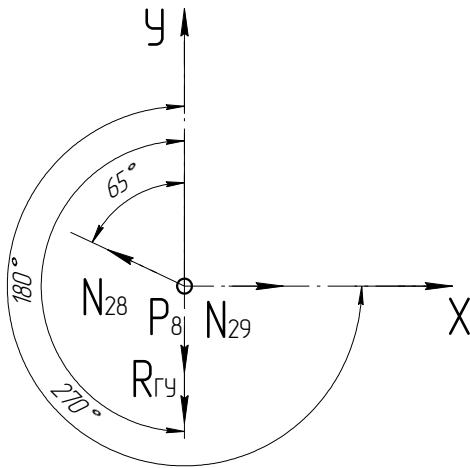


Рисунок 5.19 – Вузол 15

$$\Sigma X = N_{28} \sin 65^\circ + N_{29} \cdot \sin 270^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_8 \cdot \cos 180^\circ + N_{28} \cdot \cos 65^\circ + R_{Гy} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_{28} = -\frac{P_8 \cdot \cos 180^\circ + R_{Гy} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 65^\circ} =$$

$$= -\frac{154 \cdot \cos 180^\circ + 11172 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 65^\circ} = 26799 \text{ Н.}$$

$$N_{29} = -\frac{N_{28} \cdot \sin 65^\circ}{\sin 270^\circ} = -\frac{26799 \cdot \sin 65^\circ}{\sin 270^\circ} = 24288 \text{ Н.}$$

Отримані розрахунком за методом вирізання вузлів зусилля зводимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Зусилля в стрижнях, Н

Елементи ферми			
Верхній пояс	Розкіс	Нижній пояс	Стійка
N ₁ =13555	N ₂ =-9229	—	N ₃ =0
N ₄ =13555	N ₅ =6366	N ₆ =-13646	N ₇ =-2966
N ₈ =13645	N ₉ =9786	N ₁₀ =-22926	N ₁₁ =-3105
N ₁₂ =22925	N ₁₃ =13794	N ₁₄ =-36310	N ₁₅ =-3337
N ₁₆ =36309	N ₁₇ =11468	N ₁₈ =-47185	N ₁₉ =-3639
N ₂₀ =47184	N ₂₁ =12199	N ₂₂ =-58754	N ₂₃ =-3871
N ₂₄ =58753	N ₂₅ =-36426	N ₂₆ =-24210	N ₂₇ =232
—	N ₂₈ =26712	N ₂₉ =-24288	—

Висновки.

1. Прослідковується цілком логічна закономірність щодо зростання зусиль в елементах при наближенні до опор;

2. Спостерігається рівність за модулем значень зусиль в нижньому поясі попередньої панелі і в верхньому поясі наступної [за рис. 5.4];
3. Опора В є вузлом, до якого приєднуються вузли з найбільшим зусиллям.

Користуючись останнім (3-м) висновком при дослідженні внутрішнього силового фактора достатньо визначити зусилля в стрижнях, що примикають до вузла – опори Д – для ферми середнього коліна, і для вузла – опори Ж – для нижнього коліна.

Наслідуючи висновки використовуємо метод вирізання вузлів для визначення зусиль в елементах вертикальної ферми середнього коліна причому, рівняння складаємо тільки для вузлів які визначають невідомі для дослідження найбільш цікавого (в дослідницькому сенсі) вузла – опори Д (рис. 5.4).

$$\Sigma X = N_{24} \sin 61,7^\circ + N_{25} \cdot \sin 90^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = P_{15} \cdot \cos 180^\circ + N_{24} \cdot \cos 61,7^\circ + R_{EY} \cdot \cos 180^\circ = 0.$$

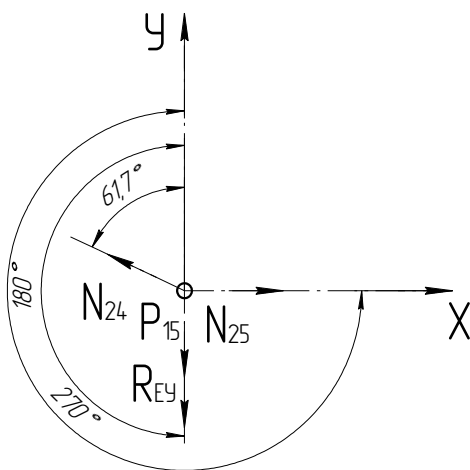


Рисунок 5.20 – Вузол 16

Звідки,

$$N_{24} = - \frac{P_{15} \cdot \cos 180^\circ + R_{EY} \cdot \cos 180^\circ}{\cos 61,7^\circ} =$$

$$= - \frac{118 \cdot \cos 180^\circ + 17502 \cdot \cos 180^\circ}{\cos 61,7^\circ} = 37166 \text{ Н.}$$

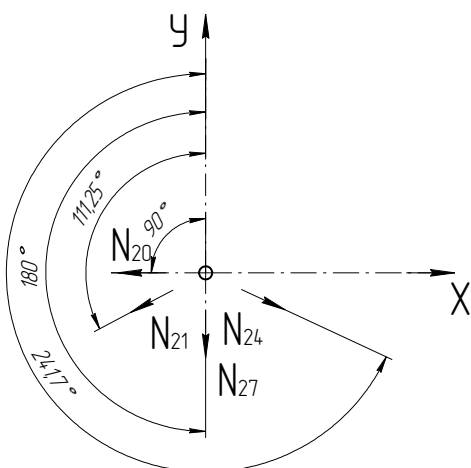


Рисунок 5.21 – Вузол 17

$$N_{25} = - \frac{N_{24} \cdot \sin 61,7^\circ}{\sin 90^\circ} = - \frac{37166 \cdot \sin 61,7^\circ}{\sin 90^\circ} = -32724 \text{ Н.}$$

$$\Sigma X = N_{24} \cdot \sin 90^\circ + N_{28} \cdot \sin 245^\circ + N_{25} \cdot \sin 288,5^\circ = 0;$$

$$\Sigma Y = N_{28} \cdot \cos 245^\circ + N_{27} \cdot \cos 180^\circ + N_{25} \cdot \cos 288,5^\circ = 0.$$

Звідки,

$$N_{21} = - \frac{N_{23} \cdot \cos 180^\circ + N_{24} \cdot \cos 241,7^\circ}{\cos 111,25^\circ} =$$

$$= - \frac{252 \cdot \cos 180^\circ + 37166 \cdot \cos 241,7^\circ}{\cos 111,25^\circ} = -49310 \text{ Н.}$$

$$N_{20} = - \frac{N_{21} \cdot \sin 111,25^\circ + N_{24} \cdot \sin 241,7^\circ}{\sin 90^\circ} =$$

$$= - \frac{-49310 \sin 111,25^\circ + 37166 \sin 241,7^\circ}{\sin 90^\circ} = 78984 \text{ Н.}$$

При визначенні зусиль у стрижнях ферм зовнішні сили повинні бути прикладені до вузлів. Якщо сили прикладені до стрижнів ферми між вузлами, то в стрижнях виникають не тільки подовжні зусилля, але і згинальні моменти. При цьому для визначення подовжніх зусиль у стрижнях позавузове навантаження треба замінити вузловим, дотримуючи законів статки (рис. 5.22).

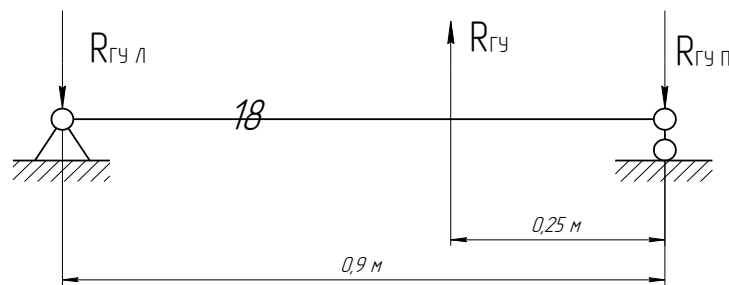
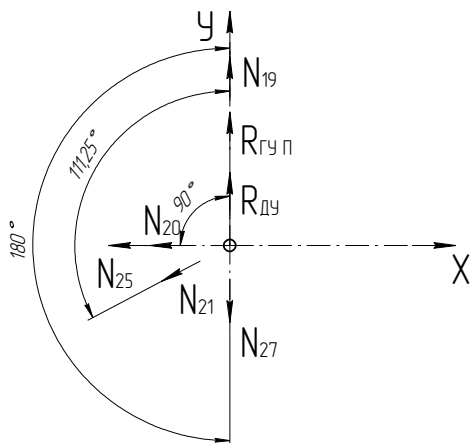


Рисунок 5.22 – Схема заміни дії позавузового навантаження



$$\text{Отже, } R_{Гy п} = \frac{R_{Гy} \cdot (0,9 - 0,25)}{0,9} = \frac{11172 \cdot (0,9 - 0,25)}{0,9} = 8069 \text{ Н.}$$
(5.30)

$$R_{Гy л} = \frac{R_{Гy} \cdot 0,25}{0,9} = \frac{11172 \cdot 0,25}{0,9} = 3103 \text{ Н.}$$
(5.31)

Рисунок 5.23 – Вузол 18

$$\Sigma X = N_{25} \sin 90^\circ + N_{18} \cdot \sin 90^\circ + N_{21} \cdot \sin 111,25^\circ = 0;$$

$$\begin{aligned} \Sigma Y = & P_{13} \cdot \cos 180^\circ + N_{19} \cdot \cos 0^\circ + N_{21} \cdot \cos 111,25^\circ + \\ & + R_{ДУ} \cdot \cos 0^\circ + R_{ГΥΠ} \cdot \cos 0^\circ = 0. \end{aligned}$$

Звідки,

$$\begin{aligned} N_{19} &= - \frac{P_{13} \cdot \cos 180^\circ + N_{21} \cdot \cos 111,25^\circ + R_{ДУ} \cdot \cos 0^\circ + R_{ГΥΠ} \cdot \cos 0^\circ}{\cos 0^\circ} = \\ &= - \frac{252 \cdot \cos 180^\circ + 49310 \cdot \cos 111,25^\circ + 23589 \cdot \cos 0^\circ + 8069 \cdot \cos 0^\circ}{\cos 0^\circ} = \\ &= -13534 \text{ Н.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{18} &= - \frac{N_{25} \cdot \sin 90^\circ + N_{21} \cdot \sin 111,25^\circ}{\sin 90^\circ} = \\ &= - \frac{32724 \cdot \sin 90^\circ + 49310 \cdot \sin 111,25^\circ}{\sin 90^\circ} = -78681 \text{ Н.} \end{aligned}$$

5.5 Розрахунок методом точок Ріттера

Метод наскрізних перерізів або метод точок Ріттера дозволяє відразу знайти зусилля в будь-якому розглянутому стрижні без попереднього визначення зусиль у попередніх стрижнях. Для визначення зусиль проводиться розріз ферми через ці стрижні. Тому що знак зусиль невідомий, то припускаємо стрижні розтягнутими і направляємо зусилля стрілками до відсіченої частини ферми. Складаємо рівняння моментом усіх зусиль, що діють на ліву частину

ферми щодо крапки (крапки Риттера), у якій перетинаються два з трьох стрижнів, які розглядаємо. Вирішуючи рівняння визначаємо невідомі.

Попередньо замінюємо позавузлове навантаження від дії опор середнього коліна вузловим (рис. 5.24).

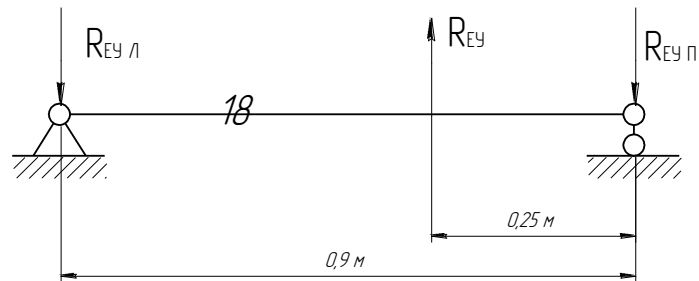


Рисунок 5.24 – Схема заміни дії позавузлового навантаження

Складаємо розрахункову схему для перерізу I-I (рис. 5.25) для визначення зусиль в стрижнях 20 і 21 (рис. 5.26).

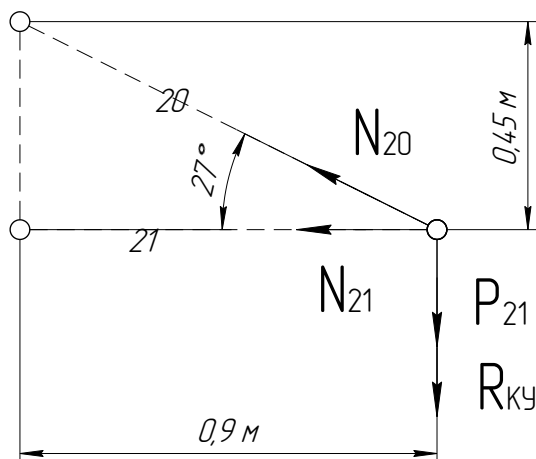
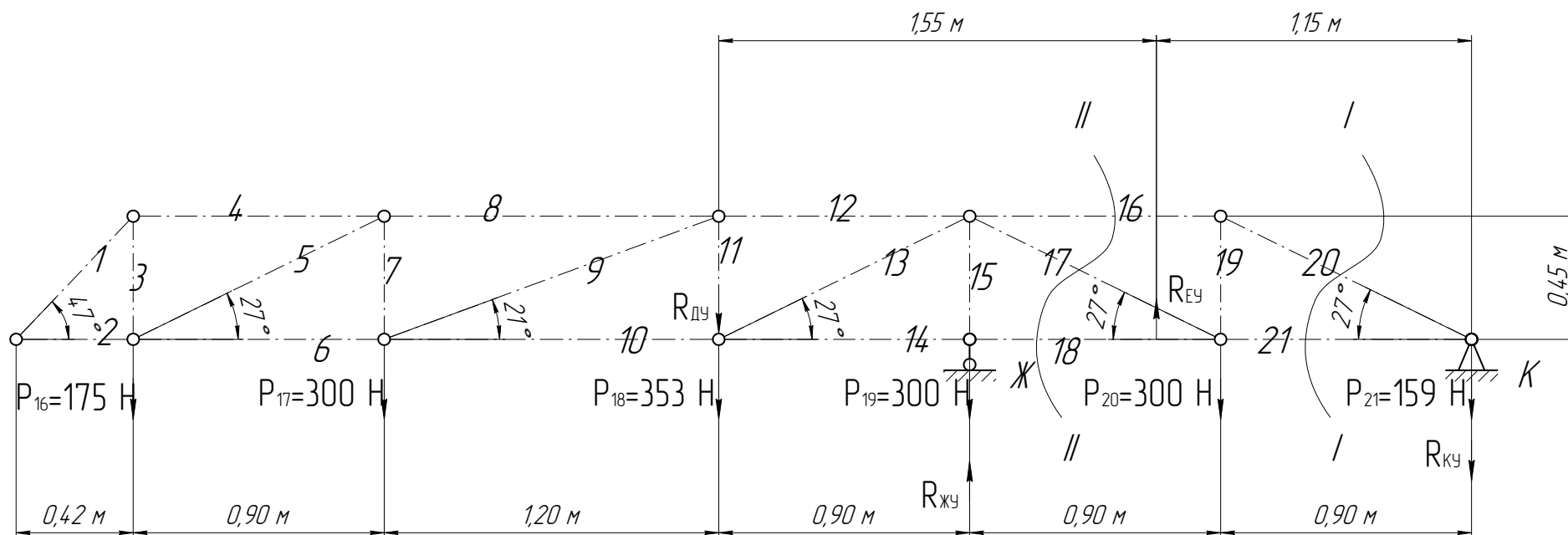


Рисунок 5.25 – Розрахункова схема за перерізом I-I (рис. 5.26)



I–I – переріз для визначення зусиль в стрижнях 20 і 21;

II–II – переріз для визначення зусиль в стрижнях 16, 17 і 18

Рисунок 5.26 – Розрахункова схема для визначення зусиль методом точок Ріттера

$$N_{20} = \frac{P_{21} + R_{KY}}{\cos 63^\circ} = \frac{159 + 18623}{\cos 63^\circ} = 41371 \text{ Н.} \quad (5.32)$$

$$N_{21} = \frac{0,9(P_{21} + R_{KY})}{0,45} = \frac{0,9(159 + 18623)}{0,45} = 37654 \text{ Н.} \quad (5.33)$$

Складаємо розрахункову схему для перерізу II-II (рис. 5.27) для визначення зусиль в стрижнях 16, 17 і 18 (рис. 5.26).

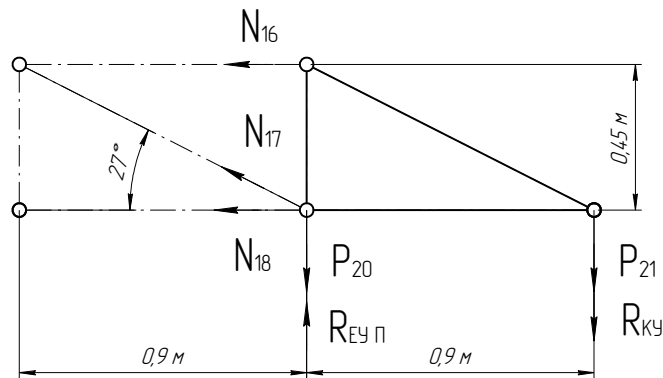


Рисунок 5.27 – Розрахункова схема за перерізом II-II (рис. 5.26)

З рівнянь рівноваги отримуємо наступні вирази зусиль.

$$N_{17} = \frac{P_{20} + P_{21} + R_{KY} - R_{EY II}}{\cos 63^\circ} = \frac{300 + 159 + 18623 - 12640}{\cos 63^\circ} = 14190 \text{ Н.} \quad (5.34)$$

$$\begin{aligned} N_{18} &= \frac{0,9 \cdot P_{20} + 1,8 \cdot P_{21} + 1,8 \cdot R_{KY} - 0,9 \cdot R_{EY II}}{0,45} = \\ &= \frac{0,9 \cdot 300 + 1,8 \cdot 159 + 1,8 \cdot 18623 - 0,9 \cdot 12640}{0,45} = 50448 \text{ Н.} \end{aligned} \quad (5.35)$$

$$N_{16} = N_{18} - N_{17} \cdot \cos 27^\circ = 50448 - 14190 \cdot \cos 27^\circ = 37805 \text{ Н.} \quad (5.36)$$

$$N_{19} = -N_{20} \cdot \cos 63^\circ = -41371 \cdot \cos 63^\circ = 18782 \text{ Н.} \quad (5.37)$$

І окремо розглядаючи вузол опори Ж (рис. 5.26) отримуємо вираз для визначення зусилля в стрижні 15

$$N_{15} = -R_{ЖУ} + P_{19} - R_{ЕУ\text{ л}} = -26297 + 300 - 4862 = -30859 \text{ Н.} \quad (5.38)$$

Отримані розрахунком значення зусиль з використанням метода перерізів та метода точок Ріттера для середнього і нижнього коліна зводимо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Зусилля в стрижнях, Н

Елементи ферми			
Верхній пояс	Розкіс	Нижній пояс	Стійка
Середнє коліно			
-	-	$N_{18} = -78681$	$N_{19} = -13534$
$N_{20} = 78984$	$N_{21} = -49310$	$N_{22} = -32724$	$N_{23} = 252$
-	$N_{24} = 37166$	$N_{25} = -32724$	-
Нижнє коліно			
-	-	-	$N_{15} = -30859$
$N_{16} = 37805$	$N_{17} = 14190$	$N_{18} = -50448$	$N_{19} = -18782$
-	$N_{20} = 41371$	$N_{21} = -37564$	-

5.6 Напруження в елементах стрілової конструкції

Для визначення діючих напружень в елементах ферм використовуємо метод допустимих напружень. Розіб'ємо стрижні на групи в залежності від напружень, які в них виникають.

1 Група. Стрижні, що працюють на розтяг. Розрахункова формула умови міцності по напруженням розтягу

$$\sigma_{Pi} = \frac{N_i}{F_i} \leq [\sigma_P], \quad (5.39)$$

де N_i – зусилля в i -му стержні;

F_i – площа перерізу i -го стержня;

$[\sigma_P]$ – допустиме напруження;

$$[\sigma_P] = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{350}{1,4} = 250 \text{ МПа}, \quad (5.40)$$

де σ_T – межа текучості матеріалу;

$\sigma_T = 350$ МПа – для сталі 09Г2С ГОСТ 8731-74;

n – нормативний коефіцієнт запасу міцності;

$n = 1,4$ [10, с. 164].

2 Група. Стрижні, що працюють на стиск. Розрахункова формула умови міцності по напруженням стиску

$$\sigma_{Ci} = \frac{N_i}{\Phi \cdot F_i} \leq [\sigma_C], \quad (5.41)$$

де $[\sigma_P] = [\sigma_C] = 250$ МПа – допустиме напруження;

φ – коефіцієнт зменшення допустимого напруження;

$\varphi=f(\lambda)$ – тобто коефіцієнт зменшення допустимого напруження є функцією гнучкості;

λ – гнучкість стрижня;

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \quad (5.42)$$

де μ – коефіцієнт зведення довжини;

$\mu=0,5$ [10, табл. 45, с. 461] – для стрижня, що жорстко защемлений з обох кінців;

$i_{\min}$ – мінімальний радіус інерції перерізу стрижня.

3 Група. Стрижні, що працюють на складний опір – стиск зі згином.
Розрахункова формула умови міцності по напруженням стиску зі згином

$$\sigma_{\text{скл i}} = \frac{N_i}{\phi \cdot F_i} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \leq [\sigma_c], \quad (5.43)$$

де M_x, M_y – згинаючі моменти відносно головних центральних вісей інерції X та Y відповідно;

W_x, W_y – осьові моменти інерції відносно головних центральних вісей інерції X та Y відповідно.

За допомогою комп'ютерної програми STRESS [додаток Б], написаної на мові програмування Turbo Pascal і призначеної для визначення діючих напружень в стержнях, які працюють на розтяг, стиск та на стиск з згином, визначаємо напруження та зводимо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Напруження в стрижнях стріли

Номер стрижня	Напруження, МПа	Вид напруження	Номер стрижня	Напруження, МПа	Вид напруження
1	2	3	4	5	6
Верхнє коліно					
1	38,3	розтяг	2	28,8	стиск
3	0	-	4	38,3	розтяг
5	24,1	розтяг	6	40,2	стиск
7	11,4	стиск	8	38,5	розтяг

1	2	3	4	5	6
9	37,0	розтяг	10	74,8	стиск
11	11,9	стиск	12	64,8	розтяг
13	52,3	розтяг	14	119,9	стиск
15	12,8	стиск	16	102,6	розтяг
17	43,3	розтяг	18	153,9	стиск
19	13,9	стиск	20	133,3	розтяг
21	46,2	розтяг	22	191,8	стиск
23	14,8	стиск	24	165,9	розтяг
25	167,4	стиск	26	79	стиск
27	0,9	розтяг	28	101,2	розтяг
29	72,8	стиск	-	-	-
Середнє коліно					
18	123,4	стиск+згин	19	53,6	стиск
20	223,1	розтяг	21	224,8	стиск
22	51,3	стиск	23	1,0	розтяг
24	140,7	розтяг	25	52,1	стиск

Нижнє коліно					
15	90,6	стиск	16	55,8	розтяг
17	40,1	розтяг	18	70,6	стиск+згин
19	55,2	стиск	20	116,9	розтяг
21	52,5	стиск	-	-	-

5.7 Розрахунок методом кінцевих елементів

5.7.1 Умови дослідження

Розрахунок за методом кінцевих елементів ведемо з використанням ЕОМ та програмного пакету ANSYS.

Метою дослідження є отримання розрахункових даних про напружений стан металоконструкції телескопічної решітчастої стріли з використанням ЕОМ.

Для отримання більш широкого висновку про можливі наближення, коли просторова фермена конструкція розглядається як окремі плоскі ферми, дослідимо за допомогою програмного пакету ANSYS, як впливає таке припущення на результати розрахунків.

5.7.2 Алгоритм виконання дослідження в системі ANSYS

1. Створюємо дво та тривимірні моделі верхнього коліна за шляхом команд:

-Preprocessor (Prep)⇒Modeling⇒Create.

Використовуємо Keypoints (Ключові точки), та Lines (Лінії) (рис. 5.28, 5.29, 5.30).

2. Задаємо властивості матеріалу за шляхом команд:

-Preprocessor⇒Material Props⇒Materials Models⇒Structural⇒Linear⇒
⇒Elastic⇒Isotropic,

далі у полі EX задаємо модуль пружності 2E11, а у полі PRXY задаємо коефіцієнт Пуассона 0,3.

3. Задаємо спосіб відображення в системі GUI (Графічний інтерфейс користувача) за шляхом команд:

-Preferences,

1
ELEMENTS
ELEM NUM

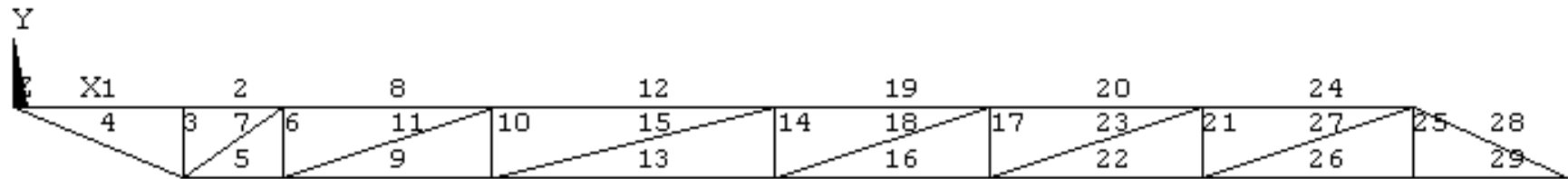


Рисунок 5.28 – Розрахункова модель верхнього коліна з номерами елементів

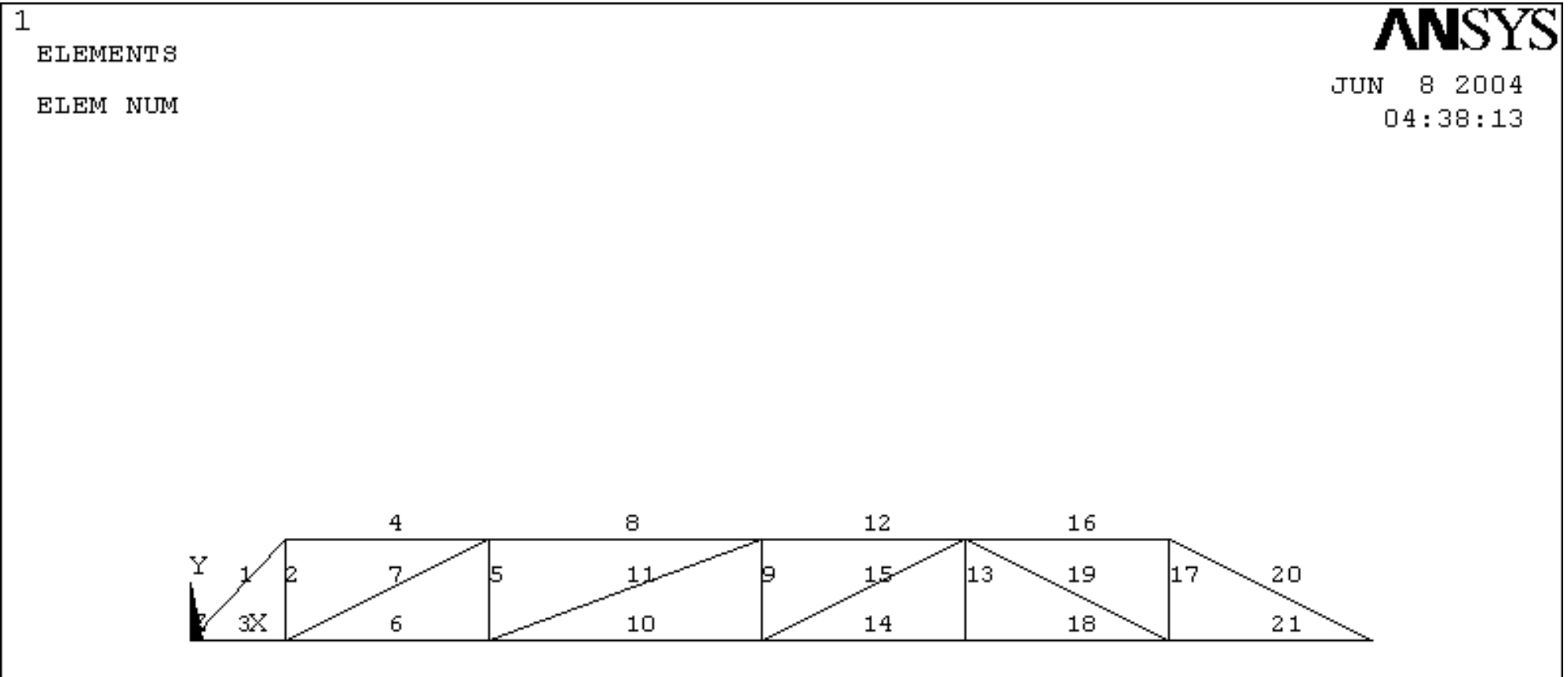


Рисунок 5.30 – Розрахункова модель нижнього коліна з номерами елементів

1
ELEMENTS
ELEM NUM

ANSYS

JUN 8 2004
04:47:30

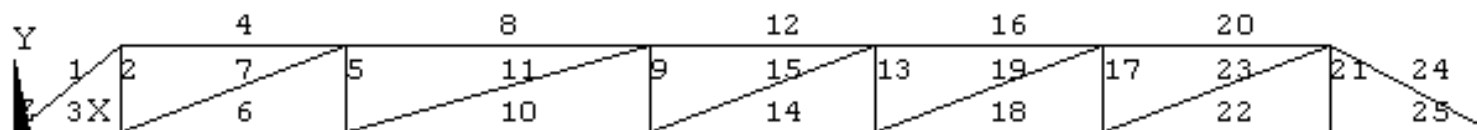


Рисунок 5.29 – Розрахункова модель середнього коліна з номерами елементів

1
ELEMENTS
ELEM NUM

ANSYS

JUN 8 2004
04:59:39

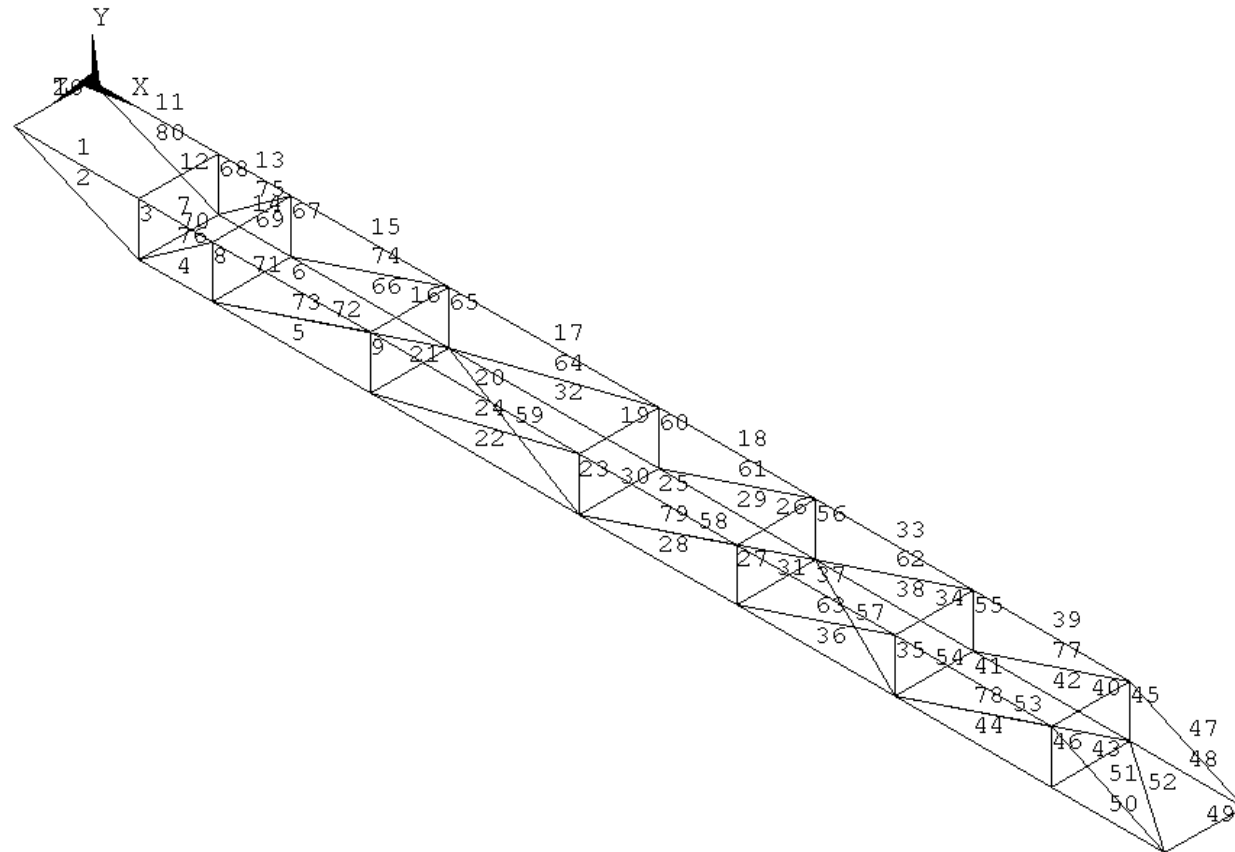


Рисунок 5.31 – Розрахункова тривимірна модель
верхнього коліна

далі встановлюємо галочку проти Structural.

4. Задаємо тип кінцевого елементу за шляхом команд:

-Preprocessor⇒Element Type⇒Add/Edit/Delete,

для плоскої ферми вибираємо Structural Link 2D – spar 1;

для просторової ферми вибираємо Structural Link 3D – spar 8.

5. Задаємо характеристику перерізів за шляхом команд:

-Preprocessor⇒Real Constant⇒Add/Edit/Delete.

Послідовно вводимо у поле AREA значення площ перерізу в м².

6. Присвоюємо лініям моделі характеристику перерізу за шляхом команд:

-Preprocessor⇒Attributes⇒Define⇒Picked Lines.

Послідовно вказуючи стрижні на моделі призначаємо значення площі перерізу.

7. Задаємо розбивку на елементи за шляхом команд:

-Preprocessor⇒Meshing⇒Mesh Tool.

У діалоговому вікні у пункті Size Control, вибираємо підпункт встановлення Set, далі виділяємо усі лінії натисканням кнопки Pick All та вказуємо кількість елементів в одній лінії, для чого в полі NDIV встановлюємо одиницю. Після цього довершуємо етап натисканням кнопки Mesh, після чого відбувається розбивка усієї моделі на кінцеві елементи.

8. Задаємо навантаження за шляхом команд:

-Solution⇒Loads⇒Apply⇒Force/Moment⇒On Keypoints.

Вказуємо точки прикладання сил і у відповідних полях діалогових вікон задаємо модулі сил.

9. Задаємо закріплення ферм за шляхом команд:

-Solution⇒Loads⇒Apply⇒Displacement⇒On Keypoints.

Вказуємо точки закріплення ферм.

10. Запуск системи на рішення за шляхом команд:

-Solution⇒Solve⇒Current LS⇒Ok.

11. Перегляд результатів розрахунку за шляхом команд:

-General Postproc⇒Element Table⇒Define Table Data⇒Ok,

задаємо мітки SMISC – для визначення діючих навантажень і LS – для визначення напружень.

5.8 Аналіз результатів розрахунку

Аналізу піддаємо результати розрахунків, що виконано вручну методами вирізання вузлів та точок Ріхтера (наскрізних перерізів) та за допомогою програмного пакету ANSYS.

1. Порівняння результатів обрахунку опорних реакцій наводимо таблицею 5.6.

Таблиця 5.6 – Аналіз опорних реакцій

Реакція вздовж вісі	Значення реакції		Відхилення, %
	Ручний метод	Система ANSYS	
Верхнє коліно			
Опора В – 0У	15661	15636	0,16
Опора Г – 0У	-11172	-11147	0,22
Опора Г – 0Х	0	-0,40018E-10	-
Середнє коліно			
Опора Д – 0У	23589	23589	0
Опора Е – 0У	-17502	17502	0
Опора Е – 0Х	0	-0,10914E-10	-
Нижнє коліно			
Опора Ж – 0У	26297	26298	0,003
Опора К – 0У	18623	-18624	0,005
Опора К – 0Х	0	-0,65484E-10	-

Отже, найбільше відносне відхилення складає 0,22 % в опорі Г верхнього коліна, а абсолютна величина відхилення 25 Н.

Нульове відхилення в опорних реакціях середнього коліна.

Незначне відхилення мають опорні реакції нижнього коліна, де абсолютне відхилення складає 1 Н.

2. Порівняння результатів обрахунку внутрішніх зусиль у стрижнях ведемо лише для найнавантажениших стрижнів і наводимо таблицею 5.7.

Таблиця 5.7 – Аналіз зусиль в стрижнях

Номер /рис. 5.28, 5.29, 5.30/, тип елемента ферми	Значення зусилля		Відхилення, %
	Ручний метод	Система ANSYS	
Верхнє коліно			
22, нижній пояс	-58754	-59086	0,56
24, верхній пояс	58753	59086	0,56
25, розкіс	-36426	-36475	0,13
Середнє коліно			
18, нижній пояс	-78681	-78681	0
20, верхній пояс	78984	78681	0,0038
23, розкіс	-49310	-49310	0
Нижнє коліно			
14, нижній пояс	-50448	-50451	0,0059
16, верхній пояс	37805	37565	0,63
15, розкіс	-	54598	-

Отже, найбільше відносне відхилення складає 0,63 % для елемента 16 нижнього коліна, а абсолютна величина відхилення 240 Н.

Нульові відхилення в для стержнів середнього коліна.

Стабільне відхилення мають зусилля в стрижнях верхнього коліна.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ АВТОПІДЙОМНИКА

6.1 Розрахункова схема

Автопідйомник, а саме його стрілове обладнання при експлуатації має два стани (положення) – робочий і транспортний (походний). В транспортному положенні стріла зібрана і встановлена на підтримуючі стійки. Отже розрахунковим для стійкості буде робоче положення стріли.

Умови розрахунку.

Стріла висунута повністю і знаходиться під кутом 51° до горизонту. Аутригери в робочому положенні. Колиска завантажена номінальним вантажем. Кут ухилу в бік стріли 6° . Додатково враховуємо вітрове навантаження на стрілу і на коліску. Наводимо розрахункову схему рисунок 6.1.

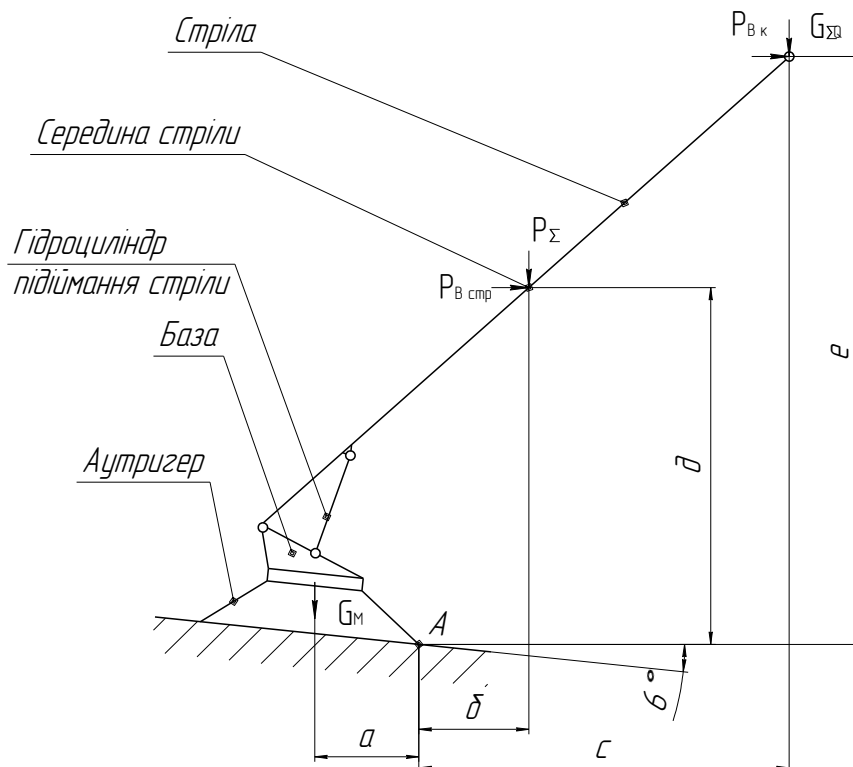


Рисунок 6.1 – Схема до розрахунку стійкості автопідйомника

6.2 Розрахунок стійкості автопідйомника

Визначаємо фактичний коефіцієнт запасу стійкості =

$$K = \frac{M_B}{M_H} = \frac{G_M \cdot a}{P_{\Sigma} \cdot b + G_{\Sigma Q} \cdot c + P_{B \text{ стр}} \cdot d + P_{B \kappa} \cdot e} =$$

$$= \frac{63000 \cdot 1,5}{9688 \cdot 2,5 + 4210 \cdot 6 + 319 \cdot 8 + 267 \cdot 14} = 1,69 > [K] = 1,5, \quad (6.1)$$

де G_M – вага базової машини, на якій виконано підйомник;

$G_M = 63000$ Н – за технічною характеристикою машини ЗИЛ-431410;

P_{Σ} – загальна вага стріли;

$P_{\Sigma} = 9688$ Н – таблиця 5.1;

$G_{\Sigma Q}$ – вага вантажу з коліскою;

$G_{\Sigma Q} = 4210$ Н – формула 5.6;

$P_{B \text{ стр}} = 319$ Н /див. 5.1/;

$P_{B \kappa} = 267$ Н /див. 5.1/;

а, б, с, д, е – відстані за розрахунковою схемою на рис. 6.1 від точок прикладання сил до точки (ребра) перекидання автопідйомника.

Отже, отриманий фактичний коефіцієнт запасу стійкості для розрахункового положення склав 1,69, і не перевищує допустимий $[K] = 1,5$, що свідчить про виконання цієї умови.

6.3 Рекомендації щодо підвищення стійкості автопідйомника

Для автомобільного підйомнику даного типу серед можливих варіантів підвищення стійкості можна запропонувати три.

Перший варіант підвищення стійкості.

Без зміни обладнання можна шляхом використання вантажної спроможності платформи, яка складає 500 кг, збільшити вагу базової машини і отримати коефіцієнт запасу стійкості за формулою 6.1

$$K_1 = \frac{(5000+63000) \cdot 1,5}{9688 \cdot 2,5 + 4210 \cdot 6 + 319 \cdot 8 + 267 \cdot 14} = 1,83. \quad (6.2)$$

Отримуємо підвищення коефіцієнту

$$\Delta_1 = \frac{K_1 - K}{K} \cdot 100\% = \frac{1,83 - 1,69}{1,69} \cdot 100\% = 8\%.$$

Другий варіант підвищення стійкості.

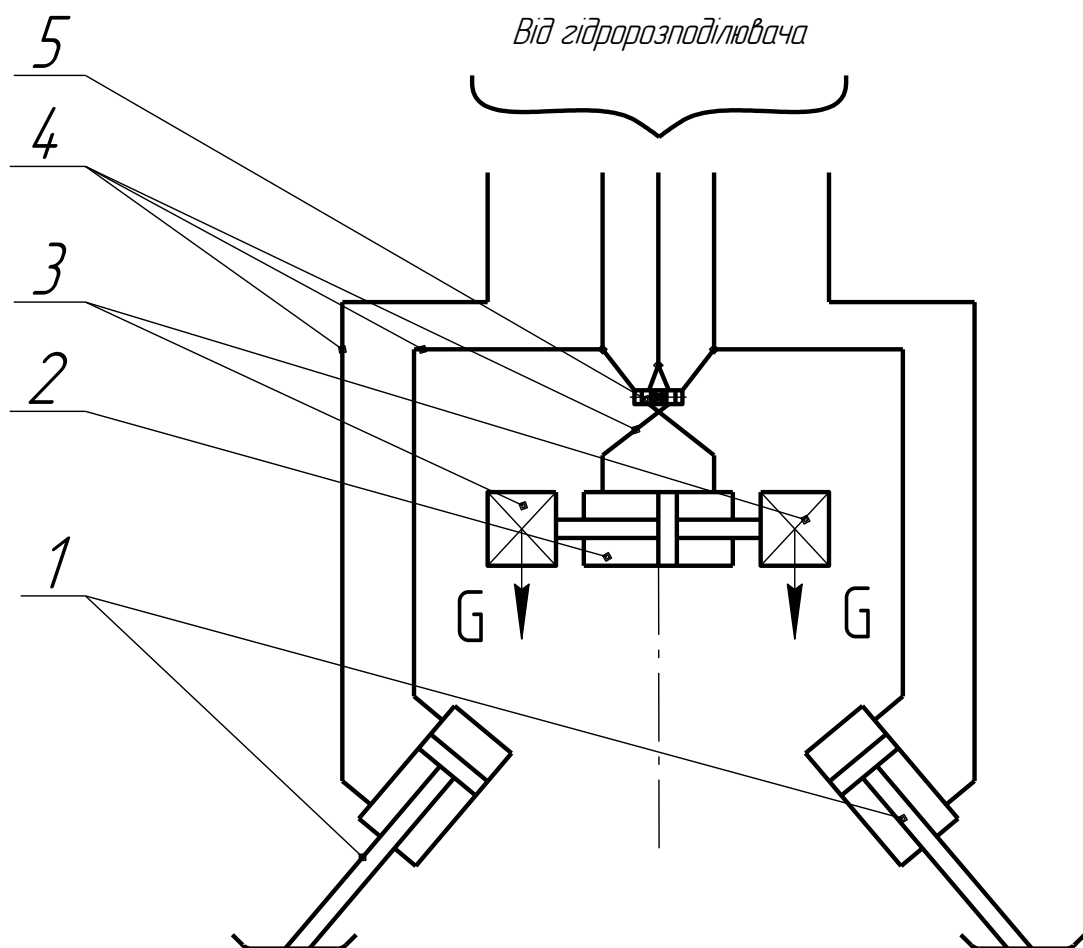
Зі зміною конструкції, шляхом використання вантажної спроможності плюс гідравлічна система. Принцип дії такої системи приховано в тому, що до гідравлічної системи на напорній магістралі приєднується двоштоковий гідроциліндр. Цей гідро циліндр відслідковує різницю тисків в робочих камерах гідроциліндрів аутригерів і переносить противаги у бік менш навантаженого аутригера (рис. 6.2).

Шляхом використання такого варіанту досягаємо значення коефіцієнту запасу стійкості

$$K_2 = \frac{5000 \cdot 2,2 + 63000 \cdot 1,5}{9688 \cdot 2,5 + 4210 \cdot 6 + 319 \cdot 8 + 267 \cdot 14} = 1,89. \quad (6.3)$$

Отримуємо підвищення коефіцієнту

$$\Delta_1 = \frac{K_2 - K}{K} \cdot 100\% = \frac{1,89 - 1,69}{1,69} \cdot 100\% = 11,8\%.$$



- 1 – аутригери; 2 – двоштоковий гідроциліндр; 3 – протипага;
4 – гідротрубопроводи; 5 – слідкуючий розподільник

Рисунок 6.2 – Модернізація гідравлічної схеми аутригерів

Третій варіант підвищення стійкості.

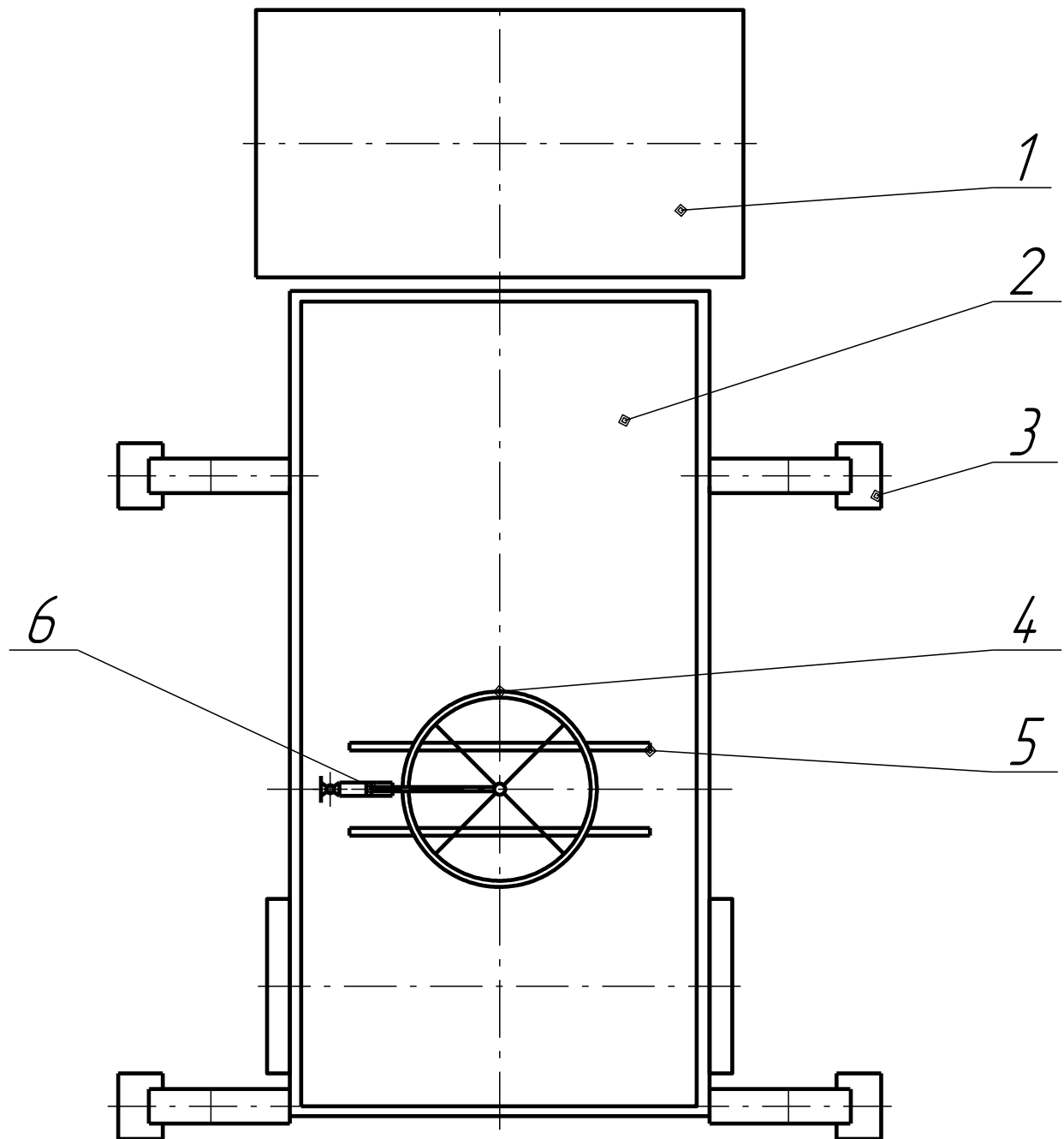
Зі зміною конструкції, є результатом перших двох, шляхом використання

вантажної спроможності плюс гідравлічна система. Суть цього варіанту в тому, що противаги встановлюються на консольній частині стріли з протилежного боку відносно опори щодо колиски.

Розвиток цього варіанту підвищення стійкості можливий і доцільний за умови, що опорно – поворотний пристрій витримає додавання у вазі. Така перевірка вимагає додаткових розрахунків відповідальних вузлів та деталей, для яких потрібні креслення.

Четвертий варіант підвищення стійкості.

В основу цього підходу покладено прагнення до віддалення точки (ребера) перекидання. Це пропонується реалізовувати шляхом введення додаткової керованого ступеня волі стрілової системи в горизонтальній площині у перпендикулярному до руху базової машини напрямку (рис. 6.3).



1 – кабіна; 2 – платформа; 3 – аутригер;
4 – опорно-поворотне коло; 5 – напрямні; 6 – гідроциліндр

Рисунок 6.3 – Модернізація з'єднання підйомно-поворотна рама – остов

ВИСНОВКИ

Отримані дані в результаті дослідження телескопічної решітчастої стріли автомобільного підйомника АП-17А мають різноманітні напрямки висновків, а отже, згрупуємо їх за наступними критеріями.

1. Міцність елементів телескопічної стріли.

У відповідності до розрахунків розділу 5.6 таблиці 5.5 можна стверджувати про достатність міцності, для вказаного розрахункового положення, яка виражається умовами:

при ручному розрахунку

- * для верхнього коліна $\sigma = 191,8 \text{ МПа} < [\sigma] = 250 \text{ МПа}$;
- * для середнього коліна $\sigma = 224,8 \text{ МПа} < [\sigma] = 250 \text{ МПа}$;
- * для нижнього коліна $\sigma = 154 \text{ МПа} < [\sigma] = 250 \text{ МПа}$.

при розрахунку системою ANSYS додаток В, Е, Ж

- * для верхнього коліна $\sigma = 167 \text{ МПа} < [\sigma] = 250 \text{ МПа}$;
- * для середнього коліна $\sigma = 222 \text{ МПа} < [\sigma] = 250 \text{ МПа}$;
- * для нижнього коліна $\sigma = 154 \text{ МПа} < [\sigma] = 250 \text{ МПа}$.

2. Деформація кінця стріли.

У зв'язку зі складністю ручного розрахунку величини прогину кінця стріли решітчастої конструкції було використано програмні засоби пакету ANSYS за допомогою яких отримане значення прогину склало 0,076 м при горизонтальному розташуванні стріли з максимальним вилітом (для цього положення) і номінальним вантажем у колісці.

3. Розрахункові схеми.

Розрахункові схеми, які використовувалися при дослідженні стріли складені з дією сил лише у вертикальній площині, а отже це припущення залишає поза увагою напружений стан плоских горизонтальних ферм. Але, враховуючи те, що розпорки (елементи верхньої ферми) та розкоси (елементи

нижньої ферми) за профілем такіж як і елементи вертикальних ферм, це припущення судячи з напруженого стану останніх справедливо.

4. Підвищення стійкості машини.

Запропоновані заходи щодо підвищення стійкості машини /розділ 6.3/, а точніше, використання резервів міцності стрілової конструкції збільшуючи виліт зі збереження умови запасу стійкості мають сумнівну доцільність. Цей факт пояснюється значними змінами конструкції з малою ефективністю результатів, а саме збільшення виліту лише ≈ 1 м.

5. Поради щодо конструкції.

Розрахунок показав, що для середнього коліна стрижень 21 рисунок 5.4 працює на стиск і має перше – за ручним розрахунком та друге – за розрахунком на ANSYS значення напруження, відповідно -225 МПа і -187 МПа. Цей факт нашоує на заміну стрижня в межах цієї панелі з головної на другорядну діагональ, що дозволить перевести стрижень з стиску на розтяг.

6. Вітрове навантаження.

При визначенні навантажень, що діють на стрілову систему від вітрового тиску, підмічено: вітрове навантаження дуже мале ($P_{B \text{ стр}}=319$ Н і $P_{B \text{ к}}=267$ Н). Це надає можливість полегшити розрахунок та виключити помилки (людський фактор) не враховуючи вітрове навантаження при розрахунку на міцність.

7. Розрахункове припущення.

Розрахункове припущення, щодо можливості відокремлення двовимірних плоских ферм від тривимірних ферм з метою полегшення розрахунку підтвердилося. Дані отримані розрахунком в системі ANSYS для стрижнів вертикальних ферм у складі тривимірної ферми збігаються /додаток Д/ з результатами для двовимірної вертикальної ферми.

8. Відхилення результатів.

При поясненні цього явища треба відмітити певні джерела зародження відхилень між результатами ручного та машинного (ANSYS) розрахунку:

а) похибки, які спричинені безпосередньо математичним розрахунком, до яких належать поступове округлення результуючих значень, не достатня точність кутових розмірів, поступове накопичення похибки і таке інше;

б) похибки, які спричинені методикою розрахунків. Це у більшій частині відчувається у розрахунку на стиск (стійкість), коли ручним розрахунком вводиться коефіцієнт зменшення допустимих напружень, а програмний пакет ANSYS цей момент не враховує.

9. Рівень складності.

Безсумнівно, комп'ютерна техніка значно підвищує точність громіздких розрахунків та зменшує час потрібний на це. Керуючись цим, за складністю ручного та машинного розрахунків з'являється наступне протиріччя. Або ручний розрахунок та втрата часу і громіздкі розрахунки. Або висока точність і економія часу, плюс необхідність знання інтерфейсу програмного продукту.

10. Синтез розрахунків.

Розрахунок показав спорідненість результатів розрахунку ручного та машинного. Хоча є певні моменти, коли результати мають відхилення (іноді значні). Тому, кожний відповідальний розрахунок за допомогою САПРовського програмного забезпечення треба перевіряти ручним, або хоча б наближеним обрахунком. До того ж, відмінне значення мають поєднання методик, коли на певному етапі людина втручається в розрахунок машини та вводить певні корективи в проміжні значення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Современные подъемники. - М.: Знание. 1983. - 64 с.
2. Уланов Р.Н. и Щербаков В.Д. Автомобильные подъемники и автопогрузчики. - М.: «Высш. школа», 1977. 157 с.
3. Покрас Ю.Л., Перемысловский В.И. Подъемники для производства специальных и монтажных работ. - М.: Стройиздат. 1964.
4. Павлов Н.Г. Лифты и подъемники. Основы конструирования и расчета. - М.: «Машиностроение», 1965, 204 с.
5. Кодкин А.И. Телескопические стрелы для автомобильных кранов К-51 и пневоколесных кранов К-102. -М.: ГОССТРОЙИЗДАТ. 1960.
6. Вершинский А.В. Строительная механика и металлические конструкции:
Учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/А.В. Вершинский, М.М. Гохберг, В.П. Семенов; Под общ. ред. М.М. Гохберга.–Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. 231 с.
7. ДНАОП 0.00-1.03-02 Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. Київ, 2002.
8. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлических конструкций/ Под общ. ред. М. М. Гохберг. –М.: Машиностроение. 1988. –536 с.: ил.
9. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов/ Под общ. ред. М. М. Гохберг. –М.: Машиностроение. 1988. –559 с.: ил.
10. Справочник по сопротивлению материалов/ Отв. ред. Писаренко Г. С. 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наук. Думка, 1988. –736 с.

11. Курсовое проектирование грузоподъемных машин. Руденко Н.Ф. и др. – М.: изд-во «Машиностроение», 1971, – 464 с.
12. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин. Иванченко Ф.К. и др. – Киев, «ВШ», 1978. – 576 с.
13. А.В. Кузьмин, Ф.Л. Марон. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. – Мн.: Выш. шк., – 1983. – 350 с.
14. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. Учеб. пособие для студентов вузов. «Машиностроение», – 1973. – 456 с.
15. Производство, монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин. Кох П.И. Киев, Издательское объединение «Вища школа», 1977, 352 с.
16. Ивашков И.И. Монтаж, эксплуатация и ремонт подъемно-транспортных машин: Учебник для студентов вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование», – М.: Машиностроение, 1991. – 400 с.
17. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г. Красковского. – М.: Компьютер Пресс, 2002. – 224 с.: ил.
18. Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, – 1961. – 519 с.: ил.
19. СТАНДАРТ ПІДПРИЄМСТВА СТП 15-96. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КУРСОВИХ І ДИПЛОМНИХ ПРОЕКТІВ. Вимоги і правила оформлення.
20. <http://www.ansys.com>.
21. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros>.
22. www.esg.spb.ru/win/Pr_products/Analys/MS_CFDDesign.htm.

Додаток А Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS середнього коліна

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT	CURRENT	CURRENT
ELEM	A1	A2
1	-0.47595E-06	-0.12565E-09
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.19275E-06	0.68232E-10
5	-0.55682E+06	-147.00
6	-0.57273E+06	-378.00
7	0.15363E+07	405.58
8	0.10678E+07	378.00
9	-0.15114E+07	-399.00
10	-0.26455E+07	-1746.0
11	0.53977E+07	1425.0
12	0.49322E+07	1746.0
13	-0.62064E+08	-16385.
14	-0.66483E+08	-43879.
15	0.17124E+09	45207.
16	0.12395E+09	43879.
17	-0.51265E+08	-13534.
18	-0.11921E+09	-78681.
19	0.14144E+09	37341.
20	0.22226E+09	78681.
21	0.95455E+06	252.00
22	-0.49581E+08	-32723.
23	-0.18678E+09	-49310.
24	0.14078E+09	37166.
25	-0.49581E+08	-32723.

MINIMUM VALUES

ELEM	23	18
VALUE	-0.18678E+09	-78681.

MAXIMUM VALUES

ELEM	20	20
VALUE	0.22226E+09	78681.

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP=	1	SUBSTEP=	1
TIME=	1.0000	LOAD CASE=	0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY
11		23589.
14	-0.10914E-10	-17502.

TOTAL VALUES

VALUE	-0.10914E-10	6087.0
-------	--------------	--------

Додаток Б Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS НИЖНЬОГО КОЛІНА

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT A1	CURRENT A2
1	0.35227E-07	0.12470E-10
2	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000
5	-0.49435E+06	-175.00
6	-0.47297E+06	-350.00
7	0.11054E+07	391.31
8	0.51699E+06	350.00
9	-0.13418E+07	-475.00
10	-0.21847E+07	-1616.7
11	0.38215E+07	1352.8
12	0.23880E+07	1616.7
13	-0.87174E+08	-30860.
14	-0.68177E+08	-50451.
15	0.15423E+09	54598.
16	0.55488E+08	37565.
17	-0.53058E+08	-18783.
18	-0.68177E+08	-50451.
19	0.40696E+08	14406.
20	0.11864E+09	41999.
21	-0.50764E+08	-37565.

MINIMUM VALUES

ELEM	13	18
VALUE	-0.87174E+08	-50451.

MAXIMUM VALUES

ELEM	15	15
VALUE	0.15423E+09	54598.

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP=	1	SUBSTEP=	1
TIME=	1.0000	LOAD CASE=	0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY
9		26298.
12	-0.65484E-10	-18624.

TOTAL VALUES

VALUE	-0.65484E-10	7674.0
-------	--------------	--------

Додаток Д Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS верхнього коліна

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT A1	CURRENT A3
1	0.38741E+08	13714.
2	0.38741E+08	13714.
3	0.0000	0.0000
4	-0.26485E+08	-9375.6
5	-0.39246E+08	-13893.
6	-0.11235E+08	-2966.0
7	0.24386E+08	6438.0
8	0.39246E+08	13893.
9	-0.65560E+08	-23208.
10	-0.11761E+08	-3105.0
11	0.37193E+08	9818.9
12	0.65560E+08	23208.
13	-0.10327E+09	-36556.
14	-0.12640E+08	-3337.0
15	0.52117E+08	13759.
16	-0.13411E+09	-47473.
17	-0.13784E+08	-3639.0
18	0.43589E+08	11508.
19	0.10327E+09	36556.
20	0.13411E+09	47473.
21	-0.14663E+08	-3871.0
22	-0.16691E+09	-59086.
23	0.46368E+08	12241.
24	0.16691E+09	59086.
25	0.87879E+06	232.00
26	-0.69170E+08	-24486.
27	-0.13815E+09	-36472.
28	0.10215E+09	26968.
29	-0.69170E+08	-24486.

MINIMUM VALUES

ELEM	22	22
VALUE	-0.16691E+09	-59086.

MAXIMUM VALUES

ELEM	24	24
VALUE	0.16691E+09	59086.

PRINT REACTION SOLUTIONS PER NODE

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP=	2	SUBSTEP=	1
TIME=	2.0000	LOAD CASE=	0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODE	FX	FY
13		15636.
16	-0.40018E-10	-11147.

TOTAL VALUES

VALUE	-0.40018E-10	4489.0
-------	--------------	--------

Додаток Г Поелементні результати розрахунків в системі ANSYS верхнього тривимірного коліна

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING*****

STAT ELEM	PREVIOUS A1	PREVIOUS A2
1	0.38741E+08	13714.
2	-0.26485E+08	-9375.6
3	0.0000	0.0000
4	-0.39246E+08	-13893.
5	-0.65560E+08	-23208.
6	0.39246E+08	13893.
7	0.38741E+08	13714.
8	-0.11235E+08	-2966.0
9	-0.11761E+08	-3105.0
10	0.0000	0.0000
11	0.38741E+08	13714.
12	0.0000	0.0000
13	0.38741E+08	13714.
14	0.0000	0.0000
15	0.39246E+08	13893.
16	0.0000	0.0000
17	0.65560E+08	23208.
18	0.10327E+09	36556.
19	0.0000	0.0000
20	0.65560E+08	23208.
21	0.19275E-06	0.50885E-10
22	-0.10327E+09	-36556.
23	-0.12640E+08	-3337.0
24	0.52117E+08	13759.
25	0.10327E+09	36556.
26	0.0000	0.0000
27	-0.13784E+08	-3639.0
28	-0.13411E+09	-47473.
29	-0.13411E+09	-47473.
30	-0.48187E-07	-0.12721E-10
31	0.96374E-07	0.25443E-10
32	-0.10327E+09	-36556.
33	0.13411E+09	47473.
34	0.0000	0.0000
35	-0.14663E+08	-3871.0
36	-0.16691E+09	-59086.
37	0.13411E+09	47473.
38	-0.16691E+09	-59086.
39	0.16691E+09	59086.
40	0.0000	0.0000
41	0.16691E+09	59086.

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING*****

STAT ELEM	PREVIOUS A1	PREVIOUS A2
42	-0.69170E+08	-24486.
43	0.24093E-07	0.63607E-11
44	-0.64192E+08	-22724.
45	0.87879E+06	232.00
46	0.87879E+06	232.00
47	0.10215E+09	26968.
48	-0.77744E+08	-27521.
49	0.0000	0.0000
50	-0.64192E+08	-22724.
51	0.10215E+09	26968.
52	0.58636E+07	1548.0
53	-0.74631E+07	-1970.3
54	0.0000	0.0000
55	-0.14663E+08	-3871.0
56	-0.13784E+08	-3639.0
57	-0.14438E-05	-0.38117E-09
58	0.10344E-05	0.27308E-09
59	-0.11505E-05	-0.30374E-09
60	-0.12640E+08	-3337.0
61	0.43589E+08	11508.
62	0.46368E+08	12241.
63	0.46368E+08	12241.
64	0.52117E+08	13759.
65	-0.11761E+08	-3105.0
66	-0.65560E+08	-23208.
67	-0.11235E+08	-2966.0
68	0.0000	0.0000
69	-0.39246E+08	-13893.
70	0.0000	0.0000
71	-0.96374E-07	-0.25443E-10
72	0.86199E-07	0.22757E-10
73	0.37193E+08	9818.9
74	0.37193E+08	9818.9
75	0.24386E+08	6438.0
76	0.24386E+08	6438.0
77	-0.13815E+09	-36472.
78	-0.13815E+09	-36472.
79	0.43589E+08	11508.
80	-0.26485E+08	-9375.6

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING

STAT ELEM	PREVIOUS A1	PREVIOUS A2
--------------	----------------	----------------

MINIMUM VALUES

ELEM	36	36
VALUE	-0.16691E+09	-59086.

```
MAXIMUM VALUES
ELEM          41          41
VALUE    0.16691E+09  59086.
```