

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра інжинірингу та дизайну в машинобудуванні

К.С. Заболотний, О.В. Панченко

**ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ
ТА ДИЗАЙНУ МАШИН**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
студентами спеціальності 133 Галузеве машинобудування**

Дніпро
НТУ «ДП»
2019

Затверджено до видання редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 9 від 02.09.2019) за поданням методичної комісії спеціальності 133 Галузеве машинобудування (протокол № 3 від 07.06.2019) і кафедри ІДМ (протокол № 9 від 27.05.2019) як навчальний посібник для бакалаврів спеціальності 133 Галузеве машинобудування ОПП «Комп'ютерний інжиніринг у машинобудуванні»

Заболотний К.С.

Основи комп'ютерного проектування та дизайну машин. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт студентами спеціальності 133 Галузеве машинобудування / К.С. Заболотний, О.В. Панченко ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2019. – 47 с.

Автори:

Заболотний К.С., д-р техн. наук, проф.

Панченко О.В., канд. техн. наук, доц.

Методичні рекомендації призначено для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування із дисципліни «Основи комп'ютерного проектування та дизайну машин».

Містить послідовний опис принципів дизайн-проектування промислових виробів. Увага спрямована на закономірності розвитку композиції об'єктів під час формотворення промислових виробів на прикладі дизайн-проектування .

Відповідальний за випуск завідувач кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні, д-р техн. наук, проф. К.С. Заболотний

ЗМІСТ

Передмова	4
Завдання	5
Вихідні дані.....	5
1. Аналіз умов експлуатації технічного об'єкта	6
1.1. Вимоги до гальмівних пристроїв.....	6
1.2. Аналіз конструкцій гальм	7
1.3. Загальні відомості про композицію у створенні технічних об'єктів ...	12
1.4. Розробка концепції дизайн-проекта	15
2. Розрахунок і вибір параметрів технічного об'єкта.....	17
2.1. Визначення ємності скіпа та вибір скіпа	17
2.2. Вибір канатів	17
2.3. Вибір типорозміру багатоканатної підйомальної машини та визначальних навантажень на неї	18
2.4. Визначення навантажень на підйомальну машину	19
2.5. Перевірка на умову нековзання канатів по канатоведучому шківу (мінімальна висота підйому).....	19
2.6. Перевірка на умову нековзання канатів по канатоведучому шківу(максимальна висота підйому)	19
2.7. Кінематика підйомальної установки.....	20
2.8. Динаміка підйомної установки	23
2.9. Визначення діаметра копрового направляючого шківа.....	27
2.10. Визначення параметрів гальма для системи з врівноважувальними канатами.....	27
2.11. Приклад розрахунку.....	28
3. Розробка конструкції та побудова комп'ютерної моделі технічного об'єкта при дизайн-проектванні.....	40
3.1. Побудова комп'ютерної моделі гальма.....	40
3.2. Перевірка кінематики руху гальма.....	41
3.3. Побудова розрахункової моделі гальма.....	41
4. Розробка технічної документації.....	49
Післямова	53
Перелік літературних джерел	54

Повна версія документа знаходиться:

*- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМ
(Read:\Викладачі\Панченко\ОКПДМ);*

*- в групі програми Microsoft Teams («133-??-?? ОКПДМ»),
або надається студентам на електронному носії*

1. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА

Шахтні підймальні машини оснащені гальмівними пристроями, які виконують різні функції. При роботі підймальної машини в режимі гальмування, гальмівні пристрої виконують функції управління підймальних машин, поглинаючи кінетичну енергію рухомих частин системи. Поглинання енергії відбувається за рахунок роботи тертя гальмівних пристроєм, щоб був виконаний заданий режим управління підймальної машини, а це в свою чергу вимагає забезпечення плавного регулювання гальмівного моменту. У моменти між підйомами гальмо утримує від обертання рушійний орган. При відхиленнях умов роботи гальмівний пристрій виконує функцію захисту, виробляючи зупинку машини і оберігаючи її від аварій.

1.1. Вимоги до гальмівних пристроїв

До гальмівних пристроїв шахтних підймальних машин встановлено ряд нормативних вимог, виконання яких є обов'язковим. Налагоджувальна бригада повинна перевірити виконання цих вимог, провести перевірку стану, наладку та випробування гальма.

Коефіцієнт статичної надійності гальма – відношення величин гальмівних моментів, створюваних як запобіжним, так і робочим гальмами в загальмованому (нерухомому стані) підйомної машини (лебідки), до максимального статичного моменту навантаження. У нашому випадку мінімальний допустимий коефіцієнт статичної надійності гальма дорівнює 30, так як кут нахилу виробки більше 30 градусів.

Для підймальних машин зі шківками тертя з пружинно-пневматично-вантажним приводом гальма ставлення гальмівного моменту, створюваного пружинної частиною, до максимального статичного моменту може бути менше 3, але не менше 2.

Фактичний коефіцієнт статичної надійності гальма визначається як відношення гальмівного моменту M_T до максимального статичного моменту $M_{ст}$ створюваному різницею натягу канатів:

$$K = \frac{M_T}{M_{ст}} \geq [K].$$

Тривалість холостого ходу гальма – це час, що минає з моменту розриву ланцюга захисту до моменту зіткнення гальмівних колодок з гальмівним ободом.

Тривалість холостого ходу запобіжного гальма діючих підйомних машин

при цьому сил тертя гальмівний момент. Деталі 1, 2, 5 і 8 утворюють шарніри с чотирма ланками, завдяки яким шарнірні балки 5 переміщуються поступально (паралельно), що сприяє рівномірному зносу прес-масових колодок.

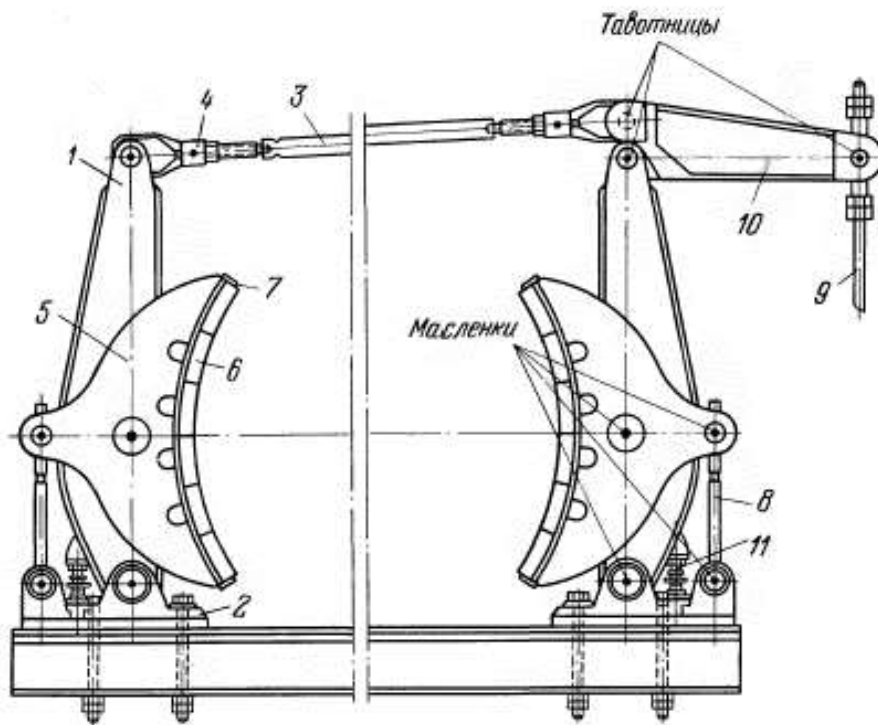


Рисунок 1.5 – Виконавчий орган гальма підіймальних машин типу Ц-3,5×2А та 2Ц-3,5×1,7А [3]

Рівномірний відхід гальмівних колодок від гальмівного обода забезпечується жорсткими або пружинними упорами 11.

На рисунках 1.1 – 1.5 наведено різноманітні конструкції гальмів підіймальних машин. Аналіз цих конструкцій показав, що недоліками конструкцій з рисунків 1.1 – 1.4 є нерівномірне зношення колодок, що приводить до частих поломок гальма та зниженню продуктивності підіймальної машини в цілому. Однак конструкція, що наведена на рисунку 1.5 вільна від зазначених недоліків. Тут колодки стираються рівномірно, що значно знижує вартість на ремонт та підвищенню терміну служби гальма.

1.3. Загальні відомості про композицію у створенні технічних об'єктів

Композиція – це мистецтво групувати елементи й властивості конструйованого предмета з метою досягнення його цілісної та виразної форми.

Властивості композиції. В основу композиції машини закладено характеристики, від яких залежить форма. До основних належать такі властивості композиції:

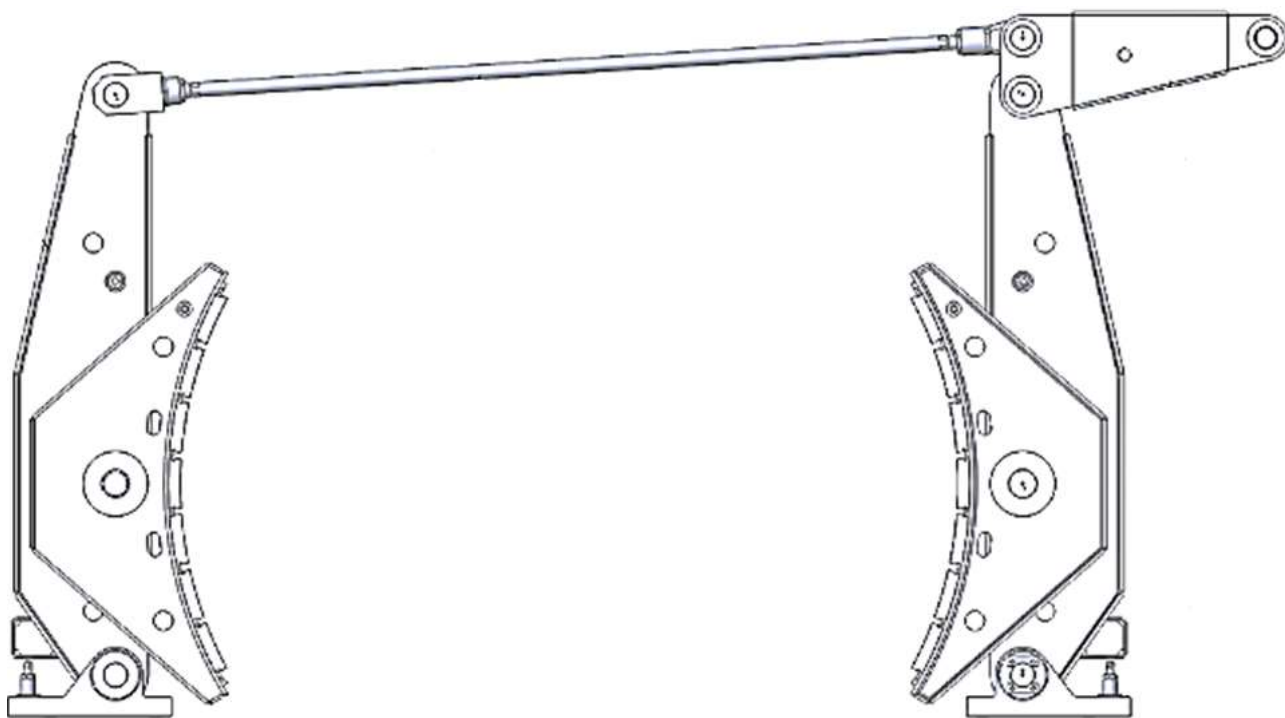


Рисунок 1.7 – Концептуальний ескіз дизайн-проекта

Композицію конструкції установки необхідно будувати, підкреслюючи тектонічні ознаки. При цьому форма моделі не повинна бути складні й активні в об'ємно-просторовому співвідношенні.

Структура технічного об'єкта, вся її організація підпорядкована використанню кількох ознак – місцями пом'якшений радіусами валків, іноді більш чіткий, однак неодноразово повторений тупий кут.

Постановка завдання на дизайн-проекування. Таким чином, для реалізації дизайн-проекту колодкового гальма піднімальної машини (рис. 1.7) необхідно для заданих вихідних даних визначити статику кінематику, динаміку піднімальної машини; розрахувати геометричні та силові параметри гальма, виконати перевірочні розрахунки на міцність його конструкції.

2. РОЗРАХУНОК І ВИБІР ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА

Для раціонального режиму роботи шахтної підіймальної установки важливо правильно вибрати тип підіймальної машини, а також визначити потужність приводного електродвигуна. Для цього необхідно спочатку визначити основні параметри установки. Основними даними, що визначають тип і конструкцію підіймальної машини є: максимальна швидкість і діаметр канату, максимальне статичне натяг канату і потужність приводного електродвигуна. Далі наведено методику визначення основних параметрів підіймальних машин для обладнання підіймальних установок.

У завдання розрахунку входять: вибір підіймальної посудини, канату, типу підіймальної машини, кінематика, гальмівний момент.

Вихідні данні.

$$A_{\text{річ}} = \frac{T}{\text{рік}} - \text{річна продуктивність};$$

$$H_{\text{п}} = \text{___ м} - \text{висота підйому};$$

Тип багатоканатної підіймальної машини – скіпова.

2.1. Визначення ємності скіпа та вибір скіпа

Ємність скіпа розраховується на наступною формулою:

$$Q = 5,7 \times A_{\text{год}} \times \sqrt[4]{H_{\text{п}}}, \quad (2.1)$$

де $A_{\text{год}}$ – годинна продуктивність

$$A_{\text{год}} = \frac{1,5 \times A_{\text{річ}}}{n_1 \times n_2}, \quad (2.2)$$

де $n_1=18$ год – кількість роботи підіймальної машини на добу;

$n_2=305$ днів – кількість днів роботи підіймальної машини на рік.

2.2. Вибір канатів

Навантажувальна характеристика канату (без ваги канату):

$$Q_0 = Q_{\text{вант}} + Q_{\text{м}}, \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{вант}}$ – вантажопідйомність скіпа

де n_T – число гальмівних колодок,

$P_{\text{доп}}$ – допустимий питомий тиск,

β_1 та β_2 – кути між вертикальною віссю гальмівного шківів і прямими, що з'єднують центр шківів з крайніми точками гальмівних колодок.

Хід штока:

$$\Delta P = 2 \times \varepsilon \times a \frac{t_3}{t_1}, \quad (2.70)$$

де a – довжина штока,

ε – зазор між колодкою і шківом.

Допустимий знос колодок:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = k \times \left(\frac{\Delta_{\text{max}} - \Delta P}{2} \right) \times \frac{t_1}{t_3}, \quad (2.71)$$

де k – коефіцієнт використання ходу штока,

Δ_{max} – максимальний хід штока згідно характеристики гальма.

2.11. Приклад розрахунку

Ємкість скіпа розраховується за формулою (2.1):

$$Q = 5,7 \times 382,514 \times \sqrt[4]{1500} = 190,7 \times 10^3 \text{ Н.}$$

тут $A_{\text{год}}$ – годинна продуктивність (2.2);

$n_1 = 18$ год – кількість роботи підйомної машини на добу;

$n_2 = 305$ днів – кількість днів роботи підйомної машини на рік

$$A_{\text{год}} = \frac{1,5 \times 3,5 \times 10^6}{18 \times 305} = 381,514 \frac{\text{т}}{\text{год}}.$$

Вибираємо скіп з вантажопідйомністю 30 т.

Вибір канатів.

Навантажувальна характеристика канату (2.3):

$$Q_0 = 220000 + 212000 = 432000 \text{ Н.}$$

де $Q_{\text{вант}} = 30000 \text{ кг}$ – вантажопідйомність скіпа;

За допомогою отриманих даних побудуємо діаграму зусиль рисунок 2.2.

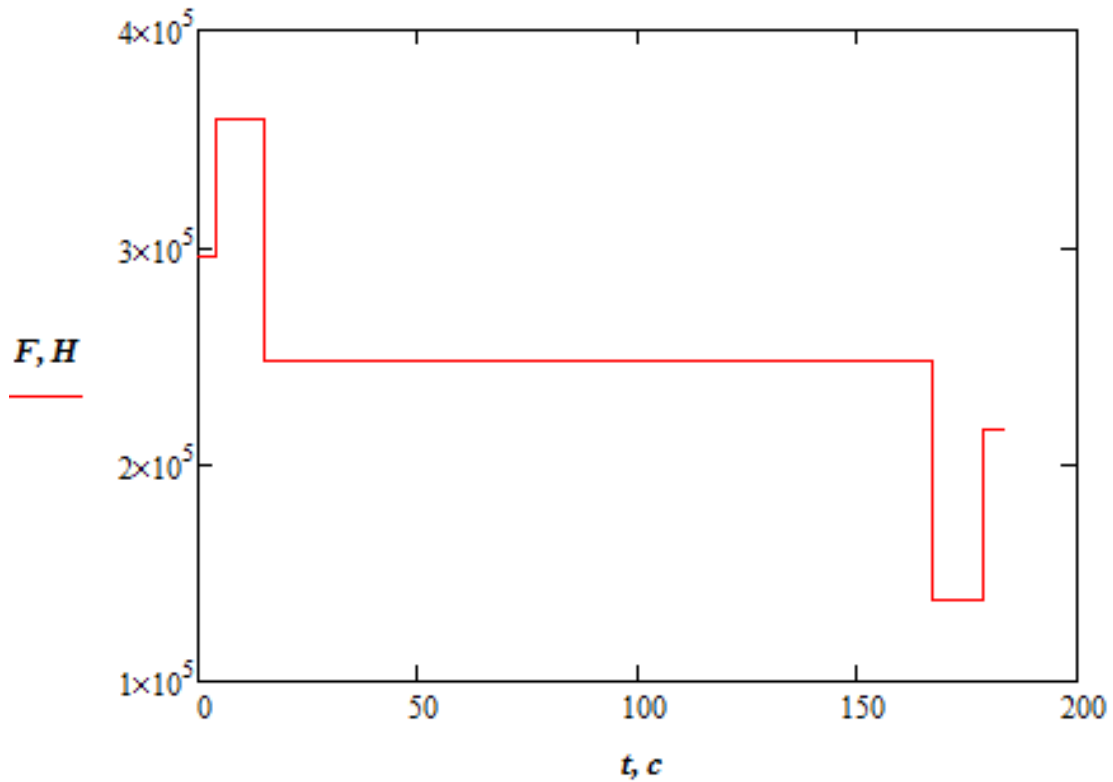


Рисунок 2.2 – Діаграма зусиль

Розрахунок потужності приводного двигуна проводиться на основі діаграми зусиль і виконується наступним чином:

Визначення еквівалентного часу роботи двигуна (2.62):

$$T_e = \frac{2}{3} \cdot (3,83 + 11,32 + 11,62 + 4,69) + 152,12 + \frac{1}{3} \cdot 22 = 180,42 \text{ с.}$$

Еквівалентне зусилля визначається за формулою (2.60):

$$F_e = \sqrt{\frac{1,16 \cdot 10^{13}}{180,42}} = 2,54 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Для п'ятиперіодної діаграми чисельник формули складається з п'яти членів і розраховується наступним чином (2.61):

$$\int_0^T F^2 dt = \frac{(2,96 \cdot 10^5)^2 + (2,96 \cdot 10^5)^2}{2} \cdot 3,83 +$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(3,59 \cdot 10^5)^2 + (3,59 \cdot 10^5)^2}{2} \cdot 11,32 + \\
& + \frac{(2,48 \cdot 10^5)^2 + (2,48 \cdot 10^5)^2 \cdot (2,48 \cdot 10^5)^2 + (2,48 \cdot 10^5)^2}{2} \cdot 152,12 + \\
& + \frac{(1,37 \cdot 10^5)^2 + (1,37 \cdot 10^5)^2}{2} \cdot 11,62 + \\
& + \frac{(2,17 \cdot 10^5)^2 + (2,17 \cdot 10^5)^2}{2} \cdot 4,69 = 1,16 \cdot 10^{13} \text{ Н}^2 \text{ с}
\end{aligned}$$

Еквівалентна потужність приводного двигуна (2.63):

$$P_{\text{екв}} = \frac{2,54 \cdot 10^5 \cdot 9,6}{1000 \cdot 0,93} = 2,62 \cdot 10^3 \text{ кВт.}$$

Визначення діаметра копрового направляючого шківа.

Відповідно до правил безпеки діаметр копрового направляючого шківа визначається, виходячи із співвідношень (2.64) і (2.65):

$$\begin{aligned}
D_{\text{шк}} & \geq 80 \cdot 45,5 = 3,64 \cdot 10^3 \text{ мм} \\
D_{\text{шк}} & \geq 1200 \cdot 2,6 = 3,12 \cdot 10^3 \text{ мм}
\end{aligned}$$

Виходячи із цих значень, приймаємо діаметр шківа $D_{\text{шк}} = 4000$ мм.

Визначення параметрів гальма для системи з врівноважувальними канатами.

Статичний момент (2.66):

$$M_{\text{ст}} = 906,5 \times 10^3 \times 2,5 = 2,2 \times 10^6 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Тормозний момент (2.67)

$$M_{\text{т}} = 3 \times 2,2 \times 10^6 = 6,6 \times 10^6 \text{ Н} \times \text{м.}$$

Уповільнення каната (2.68):

$$a_{\text{уп}} = \frac{697000 \times 2,718^{0,3 \times 3,59} - 906500}{697000 \times 2,718^{0,3 \times 3,59} + 906500} = 0,38 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

тут $\alpha = 206$ град – кут обхвату канатом шківа;
 $f = 0,3$ – коефіцієнт тертя.

3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА ПОБУДОВА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА ПРИ ДИЗАЙН-ПРОЄКТУВАННІ

Виконаємо побудову комп'ютерної моделі гальма відповідно до запропонованої концепції (розділ 1) і розрахунковим параметрам (розділ 2).

3.1 Побудова комп'ютерної моделі гальма

Комп'ютерну модель колодкового гальма підіймальної машини (рис. 3.2) розроблено за наступним алгоритмом. В програмі SolidWorks необхідно створити компоувальний ескіз, за допомогою якого побудувати моделі деталей, з яких змодельовати складальні одиниці гальма.

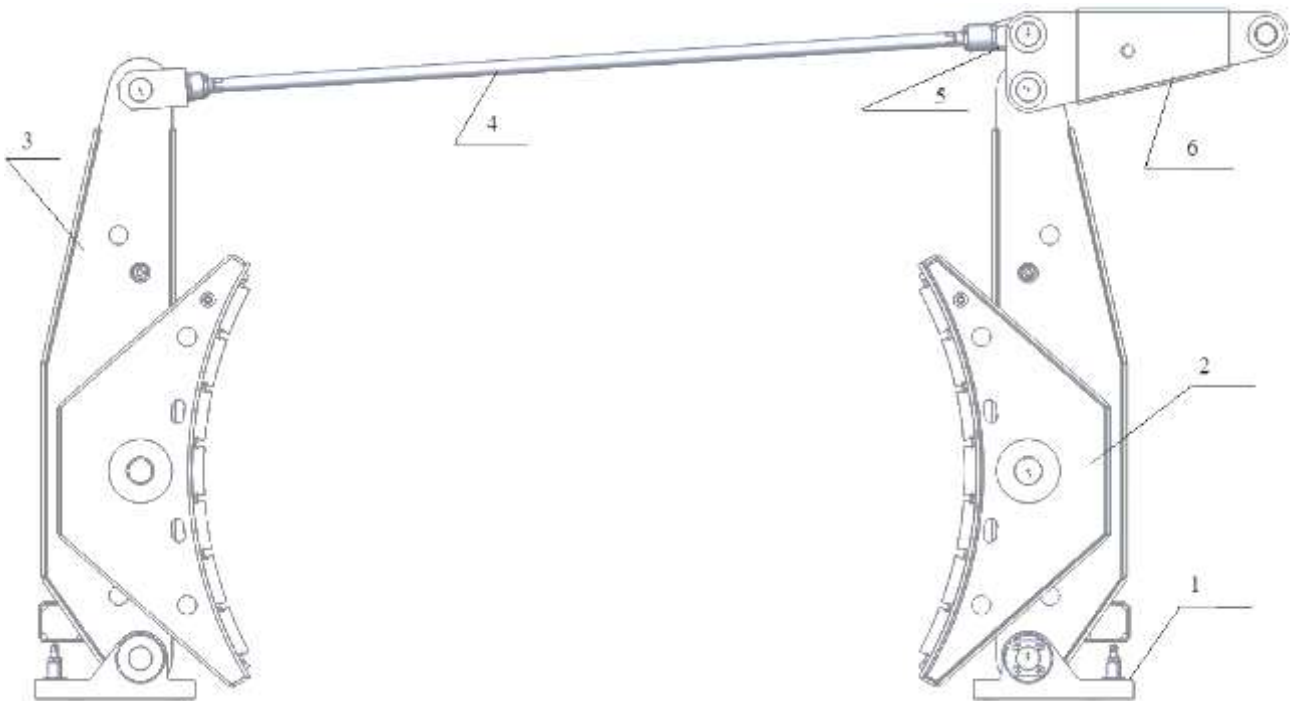


Рисунок 3.1 – Модель гальма шахтної підіймальної машини

Колодкове гальмо (рис. 3.2) складається з двох гальмівних балок 3, встановлених на шарнірних опорах 1 і з'єднаних між собою тягою 4 за допомогою шарнірних головок 5. Опори 2 закріплені на рамі підіймальної машини анкерними болтами. На кожній гальмівній балці шарнірно укріплена футерована балка 2. Зусилля для створення гальмівного моменту виконавчий орган гальма отримує від приводу гальма через шток (на рисунку не показано). Від штока через кутовий важіль 6 і сполучну тягу зусилля передається на гальмівні балки 3. При переміщенні штока вгору балки 3 відходять від гальмівного обода і підіймальна машина розгальмовується. При переміщенні штока вниз балки 1 притискають укріплені на них балки 2 до гальмівного обода,

поданому прикладі описані вище умови були задовільні при кроці сітки 15 мм (рис. 3.4 і 3.5).

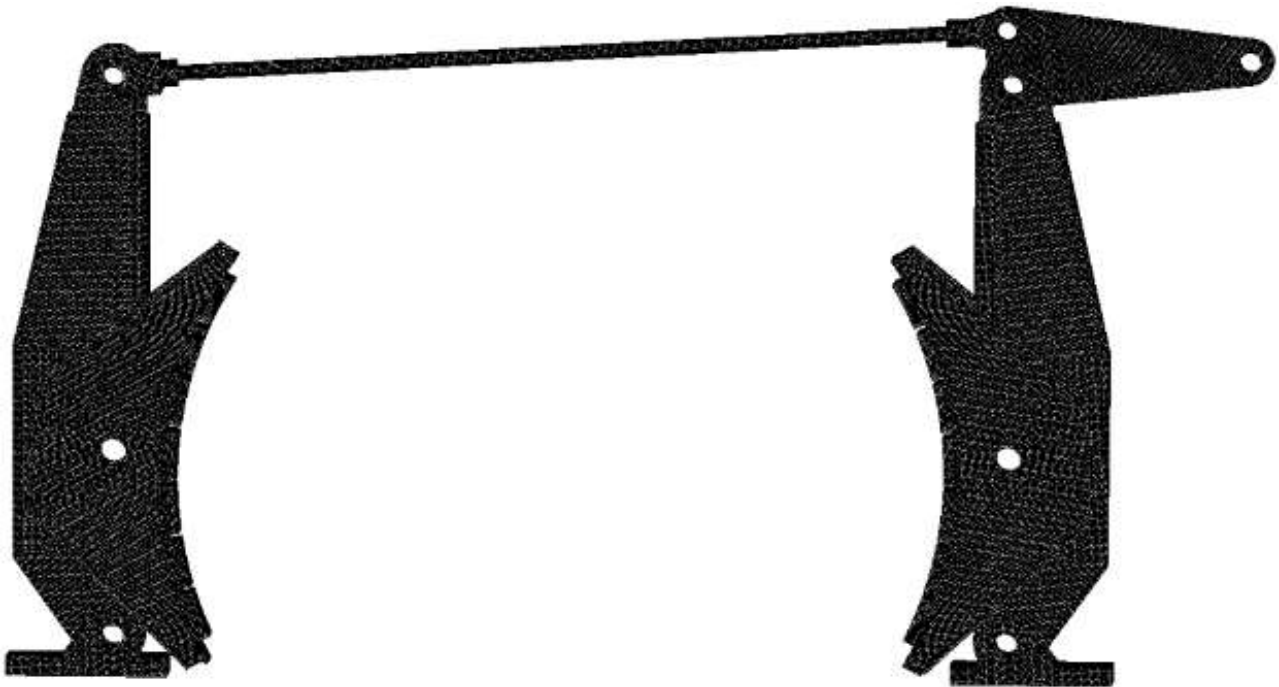
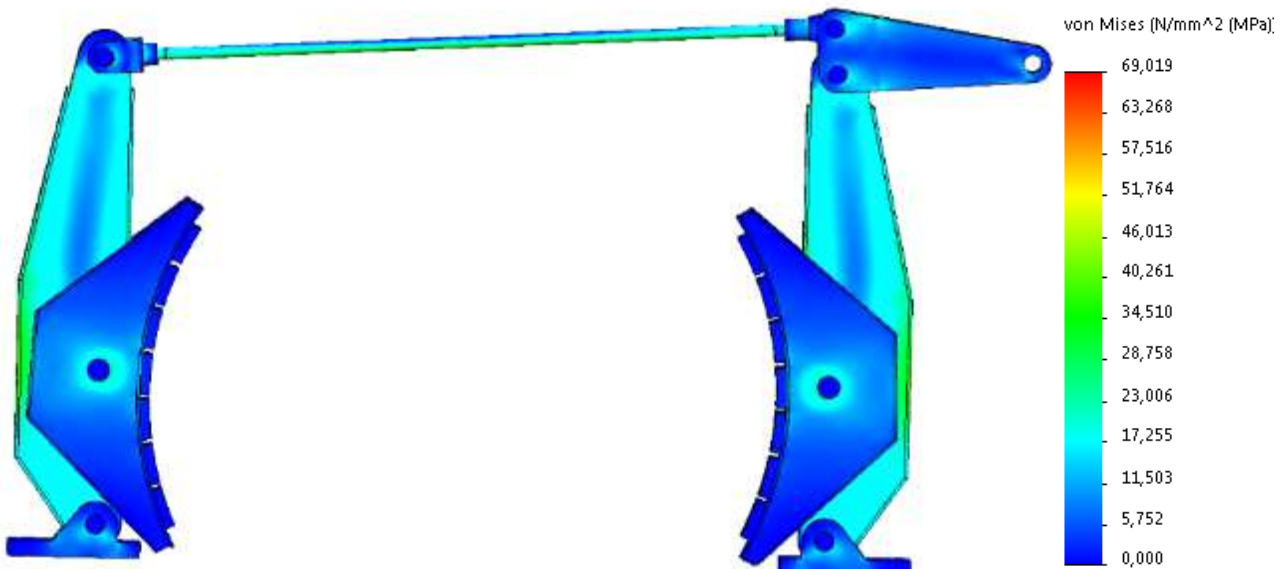


Рисунок 3.4 – Скінченно-елементна сітка механізму гальма

Сетка Детализация	
Имя исследования	Статический 1 (-По умолчанию-)
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Управление сеткой	Определенный
Размер элемента	15 mm
Допуск	0.75 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	2856630
Всего элементов	1767596
Максимальное соотношение сторон	23.009
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99.8
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0.0136
٪ искаженных элементов (якобиан)	0
Заново создать сетку из неудавшихся деталей с несовместимой сеткой	Выкл
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:09:33
Имя компьютера	CHIEF

**Рисунок 3.5 – Детальні відомості про скінченно-елементну сітку.
Екранна форма програму SolidWorks Simulation**

Далі переходимо до перевірки механізму на міцність.
Задаємо наступні граничні умови і навантаження:



**Рисунок 3.12 – Напружено-деформований стан гальма
с додатковими циліндрами**

Після цього потрібно виконати перевірку тиску на накладках колодок (рис. 3.13).

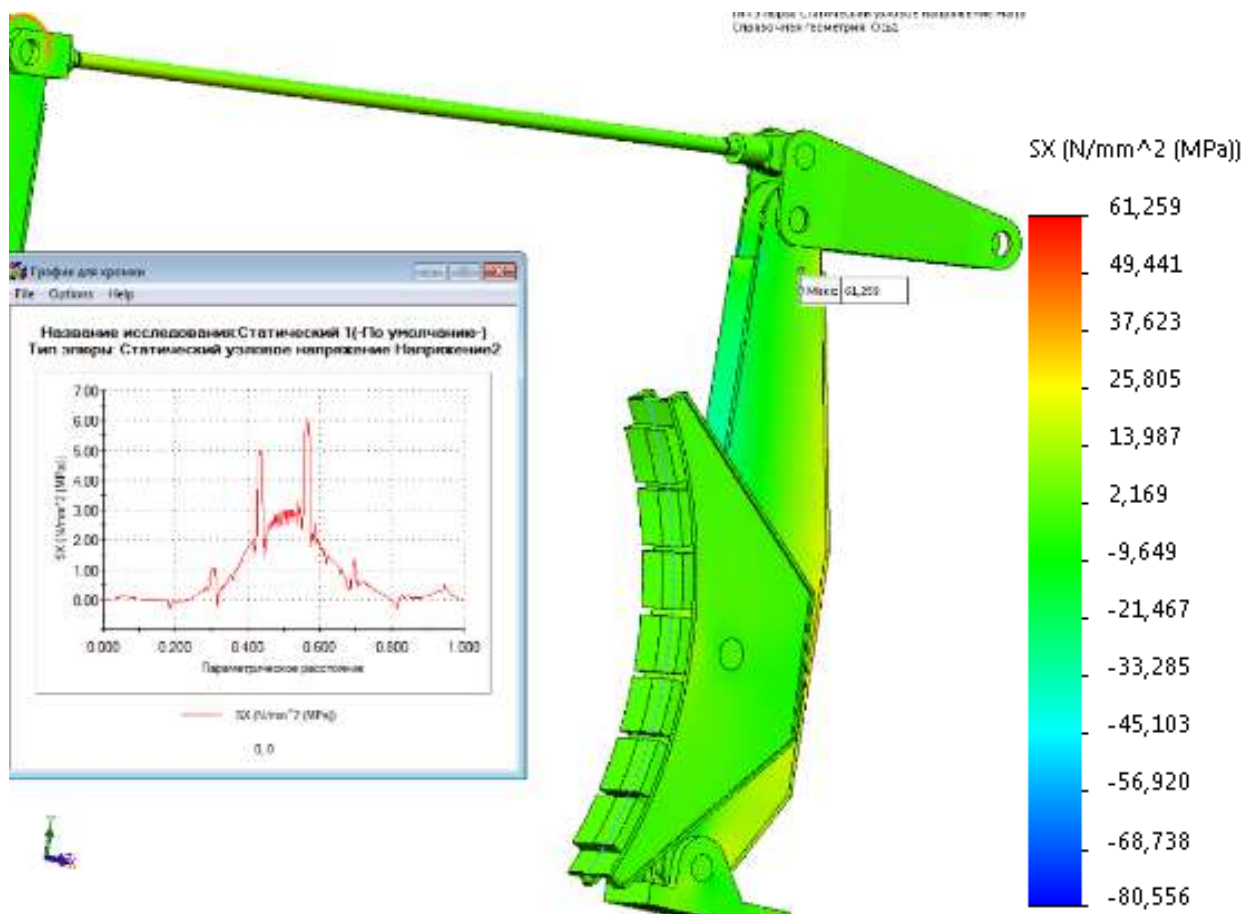


Рисунок 3.13 – Результат перевірки тиску на накладках гальма

За результатами розрахунку можна помітити що тиск не перевищує

4. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

За результатами виконаних розрахунків розробити наступну документацію:

- складаний кресленик: ГМІ.ДП.18.08.00.01.00 СК – балка у зборі;
- складаний кресленик ГМІ.ДП.18.08.00.02.00 СК – важіль вертикальний;
- складальний кресленик ГМІ.ДП.18.08.00.03.00 СК – важіль;
- складальний кресленик ГМІ.ДП.18.08.00.04.00 СК – тяга;
- кресленики деталей:

ГМІ.ДП.18.08.00.01.06 – опора;

ГМІ.ДП.18.08.00.04.03 – тяга;

ГМІ.ДП.18.08.00.04.01 – валик;

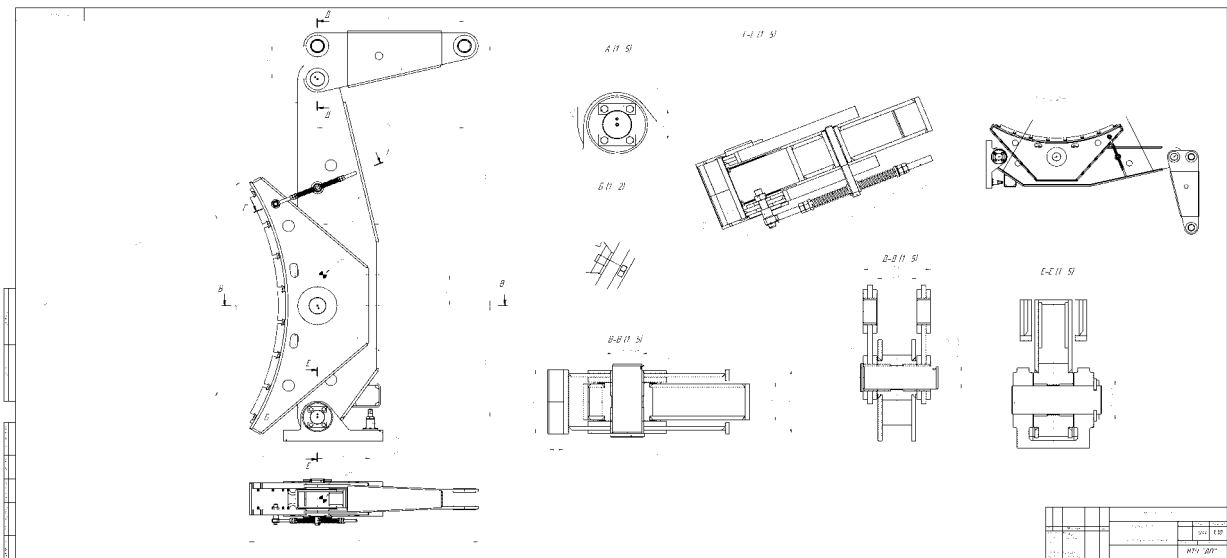
ГМІ.ДП.18.08.00.04.02 – головка шарніра;

ГМІ.ДП.18.08.00.01.02 – головка шарніра.

Вибір посадок здійснюємо згідно ДСТУ. Шорсткість оброблених поверхонь залежить від посадки, розміру і способу обробки.

Код	Назва	Класифікація	Вид	Кількість
Деталізація				
Складальні кресленики				
ГМІ.ДП.18.09.00.01.00				
Складальні деталі				
А.2	ГМІ.ДП.18.09.00.02.00	Важіль вертикальний	1	
А.3	ГМІ.ДП.18.09.00.03.00	Чаша	1	
А.4	ГМІ.ДП.18.09.00.03.00	Валик	1	
А.5	ГМІ.ДП.18.09.00.04.00	Вантаж	1	
Деталі				
А.7	ГМІ.ДП.18.09.00.01.01	Валик	1	
А.8	ГМІ.ДП.18.09.00.01.02	Валик	1	
А.9	ГМІ.ДП.18.09.00.01.03	Валик	1	
А.10	ГМІ.ДП.18.09.00.01.04	Валь	1	
А.11	ГМІ.ДП.18.09.00.01.05	Валь	1	
А.12	ГМІ.ДП.18.09.00.01.06	Валик	1	
А.13	ГМІ.ДП.18.09.00.01.07	Шпindel	1	
А.14	ГМІ.ДП.18.09.00.01.08	Шпindel	1	
А.15	ГМІ.ДП.18.09.00.01.09	Валик	4	
А.16	ГМІ.ДП.18.09.00.01.10	Шпindel	1	
А.17	ГМІ.ДП.18.09.00.01.11	Пружина	2	
А.18	ГМІ.ДП.18.09.00.01.12	Волокнистий	2	
ГМІ.ДП.18.09.00.01.00				
Балка в зборі				
НТУ "ДП"				

Код	Назва	Класифікація	Вид	Кількість
Складальні деталі				
19	ГМІ.ДП.18.09.00.02.00	Важіль вертикальний	1	
20	ГМІ.ДП.18.09.00.03.00	Чаша	1	
21	ГМІ.ДП.18.09.00.03.00	Валик	1	
22	ГМІ.ДП.18.09.00.04.00	Вантаж	1	
23	ГМІ.ДП.18.09.00.01.01	Валик	1	
24	ГМІ.ДП.18.09.00.01.02	Валик	1	
25	ГМІ.ДП.18.09.00.01.03	Валик	1	
26	ГМІ.ДП.18.09.00.01.04	Валь	1	
Інші деталі				
27	ГМІ.ДП.18.09.00.01.09	Валик	4	
Матеріали				
28	ГМІ.ДП.18.09.00.01.11	Пружина	2	
29	ГМІ.ДП.18.09.00.01.12	Волокнистий	2	
ГМІ.ДП.18.09.00.01.00				



Укладачі

Костянтин Сергійович **Заболотний**
Олена Володимирівна **Панченко**

**ОСНОВИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОЄКТУВАННЯ
ТА ДИЗАЙНУ МАШИН**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт
студентами спеціальності 133 Галузеве машинобудування**

Редактор О.Н. Ільченко

Підписано до видання 02.09.2019
Електронний ресурс. Авт. арк. 3,4

Підготовлено до виходу в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19