

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва

Допустити до захисту

зав. кафедрою БДМБ
канд. техн. наук, професор
Настоящий В.А.

" ____ " ____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Дослідження конструкції дворогого вантажного гака в середовищі
ПК SolidWorks»

ДКД 2213312 А
Альбом документів

Виконав здобувач освіти гр. ГМ-22м-2(1,9)

спеціальності 133 "Галузеве
машинобудування"

____ Теліжняк І. В.
" ____ " ____ 2024 р.

Керівник магістерської роботи
канд. техн. наук, доцент
____ Портнов Г.Д.
" ____ " ____ 2024 р.

Кропивницький - 2024рік

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення **БТ**

Кафедра, циклова комісія **будівельні, дорожні машини і будівництво**

Освітньо-кваліфікаційний рівень **магістр**

Спеціальність **133 "Галузеве машинобудування"**

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БДМБ

к.т.н. проф. Настоящий В.А.

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну магістерську роботу

Теліжняк Іван Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **«Дослідження конструкції дворогого вантажного гака в середовищі ПК SolidWorks»**

керівник проекту (роботи) *канд. техн. наук, доцент Портнов Г.Д. ,*

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” ____ 2024 року № _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) **25.05.2024**

3. Вихідні дані до проекту (роботи): **: дворогі гаки на базі заготовок ГОСТ 6628-73**

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) **1. Науково-дослідний розділ. 2. Охорона праці.**

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Не менше 10 аркушів графічного матеріалу

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Науково-дослідний розділ	доцент Портнов Г.Д..		
Охорона праці	доцент Скриннік І.А.		

7. Дата видачі завдання

10. 01. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Виконання науково-дослідного розділу	10. 01 - 10. 05.24	
2	Розробка заходів з охорони праці	10. 04 - 05. 05.24	
3	Оформлення альбому документів	10. 05 - 25. 05.24	

Здобувач

(підпис)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Теліжняк І.В.

(прізвище та ініціали)

Портнов Г.Д.

(прізвище та ініціали)

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<i>Документація загальна</i>		
				<i>Знову розроблена</i>		
				Анотація	1	
				SUMMARY	1	
A4			ДКД 2213312 ПЗ	<i>Пояснювальна записка</i>		
				Зміст	2	
				Вступ	2	
				Розділ 1. Огляд літератури	10	
				Розділ 2. Методика дослідження	12	
				Розділ 3. Результати дослідження	38	
				Висновки за результатами досліджень	1	
				CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH	1	
				Список використаних джерел	2	
				Додаток 1	12	
				Додаток 2	12	
				Додаток 3 (ОХОРОНА ПРАЦІ)	12	
				Ілюстраційні матеріали		
				<i>Знову розроблені</i>		
A4			ДКД 2213312 ПР	Мультимедійна презентація	27	A4
				з поясненнями методики		
				і результатів виконаних досліджень		

					ДКД 2213312 ВД				
Зм	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив		Теліжняк І.В.			Дослідження конструкції дворогого вантажного гака в середовищі ПК SolidWorks Відомість дипломного проекту	Стадія	Лист	Листів	
Перевірив.		Портнов Г.Д.				М		1	
						ЦНТУ гр ГМ-22м-2(1,9)			
Н. контр.		Яцун В.В.							
Затвердив.		Настоящий В.А.							

АНОТАЦІЯ

Дана робота присвячена вдосконаленню конструкції кованих дворогих (штампованих) гаків.

Дослідження відноситься до стадій технічної пропозиції та ескізного проектування, в яких використовується тривимірне просторове моделювання.

В даному дослідженні обґрунтовується вибір параметрів кованих дворогих гаків на базі заготовок ГОСТ 6628-73.

Показано, що гаки за ГОСТ 6628-73 при штатних навантаженнях мають значну масову частину мало навантажених ділянок.

Виходячи з технологічних умов виготовлення показники ефективності використання матеріалу дворогого гака ГОСТ 6628-73 можуть бути поліпшені за рахунок видалення частини матеріалу при збереженні ергономічно обумовлених розмірів частин поверхонь гака.

Запропоновані зміни теоретично дозволяють зменшити масу дворогих вантажних гаків ГОСТ 6628-73 на 6% при збереженні вантажопідйомності.

Розроблений алгоритм побудови параметризованої твердо тільної моделі дворогого гака ГОСТ 6628-73 з проведенням інженерного аналізу засобами ПК SOLIDWORKS.

Ключові слова: вантажопідйомне обладнання, вантажний дворогий гак, інженерний аналіз, метод скінчених елементів.

SUMMARY

This work is devoted to the improvement of the design of forged two-cornered (stamped) hooks.

The study refers to the stages of technical proposal and sketch design, in which three-dimensional spatial modeling is used.

This study substantiates the choice of parameters of forged bicorn hooks on the basis of GOST 6628-73 blanks.

It is shown that the hooks according to GOST 6628-73 under standard loads have a significant mass fraction of lightly loaded sections.

Based on the technological conditions of production, the performance indicators of the use of the GOST 6628-73 double-horned hook material can be improved by removing part of the material while maintaining the ergonomically determined dimensions of the parts of the hook surfaces.

The proposed changes theoretically make it possible to reduce the weight of GOST 6628-73 double-horn cargo hooks by 6% while maintaining the load capacity.

The algorithm for building a parametrized rigid body model of a GOST 6628-73 double-horned hook with engineering analysis using SOLIDWORKS PC tools was developed.

Key words: lifting equipment, double-horn cargo hook, engineering analysis, finite element method.

З М І С Т

ВСТУП	4
<u>Розділ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....</u>	<u>7</u>
1.1 Загальна характеристика вантажних гаків	7
1.2 Концепція конструювання гаків по ГОСТ	11
1.3 Аналіз публікацій.....	14
1.4 Застосування методу скінченних елементів для оптимізації конфігурації заготовки гака	16
1.5 Проблеми інженерного аналізу дворогого гака.....	17
1.6 Висновки з розділу	18
<u>Розділ 2 МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ</u>	<u>19</u>
2.1 Загальний алгоритм розрахунку	19
2.2 Побудова 3D моделі гака	20
2.3 Параметризація 3D моделі гака	30
2.4 Дослідження геометричної подібності гаків ГОСТ 6628-73.....	31
2.5 Дослідження напружено деформованого стану моделі	32
2.6 Визначення найменш навантажених елементів моделі	35
2.7 Обрання параметрів отвору	36
<u>Розділ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</u>	<u>37</u>
3.1 Дослідження геометричної подібності гаків ГОСТ 6628-73.....	37
3.2 Статичний аналіз моделі гака ГОСТ 6628-73.....	38
3.3 Дослідження варіантів моделей гака	43
3.4 Висновки з розділу	55

					ДКД 2212312 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Теліжняк				Дослідження конструкції дворогого вантажного гака в середовищі ПК SolidWorks <u>Пояснювальна записка</u>	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Портнов					М	2	104	
Рецензент						ЦНТУ гр. ГМ (ДМ) -19М (1,9)			
Н.контр.	Яцун								
Затвер.	Настоящий								

<u>ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ</u>	<u>56</u>
<u>CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH</u>	<u>57</u>
<u>Список використаних джерел.....</u>	<u>58</u>
ДОДАТОК 1 (Звіт з статичного дослідження).....	62
ДОДАТОК 2 (Звіт з статичного дослідження)	67
ДОДАТОК 3 (ОХОРОНА ПРАЦІ).....	79

ВСТУП

Актуальність теми.

Дослідження відноситься до стадій технічної пропозиції та ескізного проектування, в яких використовується тривимірне просторове моделювання.

Випуск і застосування вантажопідйомних гаків в Україні регламентується нормативними документами, розробленими більше 50 років тому.

Порівняння стандартів України та Євросоюзу показує, що при рівній вантажопідйомності при однакових класах і групах класифікації розмірно-масові характеристики виробів відрізняються в рази, причому не у всіх випадках на користь гаків, виконаних по ГОСТ.

Цей факт вказує на актуальність проведення інженерного аналізу вантажопідйомних гаків, які випускаються в Україні, з метою визначення можливості вдосконалення конструкції.

В даному дослідженні обґрунтовується вибір параметрів кованих дворогих (штампованих) гаків на базі заготовок ГОСТ 6628-73.

Зміст роботи: інженерно-технічна розробка з елементами наукових досліджень, зорієнтованими на розв'язання конкретної прикладної науково-технічної задачі в галузі машинобудування вантажопідйомних машин.

Мета роботи: обґрунтування параметрів перерізів кованих дворогих (штампованих) гаків за критерієм ефективності використання матеріалу.

Задачі дослідження:

- визначити характерні параметри кованих дворогих гаків;
- визначити фактори, які пов'язують параметри кованих дворогих гаків;
- обґрунтувати діапазони змін параметрів кованих дворогих гаків;
- визначити розрахункові, конструктивні і технологічні обмеження змін розмірів кованих дворогих гаків;

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити алгоритм побудови параметризованої твердотільної моделі кованих дворогих гаків на базі заготовок ГОСТ 6628-73;
- виконати статичний розрахунок моделей кованих дворогих гаків на базі заготовок ГОСТ 6628-73;
- визначити підпорядкування лінійки моделей принципам подібності за геометричними та масовими характеристиками;
- визначити мало навантажені ділянки твердотільної моделі;
- запропонувати геометричні параметри перерізів моделей на основі зменшення масової частини мало навантажених ділянок матеріалу моделі;
- провести машинний експеримент з різними схемами навантаження гака зі змінними параметрами перерізів.

Предмет дослідження: дворогі гаки на базі заготовок ГОСТ 6628-73.

Метод дослідження: системний аналіз.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: визначені параметри конструкції кованих дворогих гаків з підвищеною ефективністю використання матеріалу.

Практичне значення одержаних результатів: запропоновані лінійки дворогих гаків з підвищеною ефективністю використання матеріалу.

Апробація та публікація результатів роботи.

Основні положення магістерської роботи доповідалися на III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Досвід впровадження в навчальний процес сучасних комп'ютерних технологій» (Кропивницький 2024 р.).

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура роботи. Робота містить анотації українською та англійською мовами, пояснювальну записку на 84 сторінках, у тому числі 5 таблиць, 51 рисунок, список з 39 використаних джерел, а також мультимедійну презентацію з 27 слайдів. Текст роботи містить зміст, вступ, 3 розділи, висновки і рекомендації за результатами досліджень (українською та англійською мовами), 3 додатки.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальна характеристика вантажних гаків

Вантажні гаки застосовуються при виконанні вантажно - розвантажувальних робіт як універсальні вантаж захоплюючі пристрої.

У вантажопідіймальних машинах і механізмах знаходять застосування ковані (штамповані) і пластинчасті гаки. Ковані і штамповані гаки поділяють на однорогі і дворогі.

Згідно з вимогами Держгіртехнагляду [І] ковані та штамповані гаки виготовляють відповідно до ГОСТ 2105-75 "Гаки ковані та штамповані. Технічні умови". Їх типи, конструкція та розміри приймають за ГОСТ 6627-74 "Гаки однорогі. Заготівлі. Типи. Конструкція та розміри", ГОСТ 6628-73 "Гаки дворогі. Заготівлі. Типи. Конструкція та розміри" .

Вантажні гаки виготовляють куванням або штампуванням з низьковуглецевої сталі 20 (ГОСТ 1050-74 **), допускається виготовлення гаків зі сталі 20Г (ГОСТ 4543-71 *). Застосування високо вуглецевої сталі і чавуну неприпустимо через малу пластичності матеріалу і небезпеки раптового зламу гака. Після кування або штампування проводять нормалізацію для зняття внутрішніх напружень. Застосування литих сталевих гаків обмежено через можливість утворення внутрішніх дефектів металу при литті. Однак у зв'язку з розвитком засобів дефектоскопії застосування литих гаків стає все більш перспективним, особливо для гаків великої вантажопідйомності, для виготовлення яких куванням потрібно потужне ковальсько-пресове обладнання. Механічній обробці піддається тільки хвостовик гака, на якому нарізується різьба - трикутна при вантажопідйомності до 10 т трапецієвидна при більшій вантажопідйомності. За допомогою цієї різьби гак закріплюється на траверсі підвіски крюка.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Після виготовлення гак випробовують на міцність під навантаженням, що перевищує його номінальну вантажопідйомність на 25%. При випробуванні гак витримують під навантаженням не менше 10 хв; після зняття навантаження на гаку не повинно бути тріщин, надривів, залишкових деформацій. Заварка або закладення дефектів гака не допускається.

Форма гаків в залежності від виробника може відрізнятися (рис. 1.1 ... 1.3).

Ковані (штамповані) дворогі гаки ГОСТ 6628-73 (рис. 1.1) мають вантажопідйомність 8 ... 20 т для машин з ручним приводом і 5-100 т для машин з машинним приводом при важкому і дуже важкому режимі роботи.

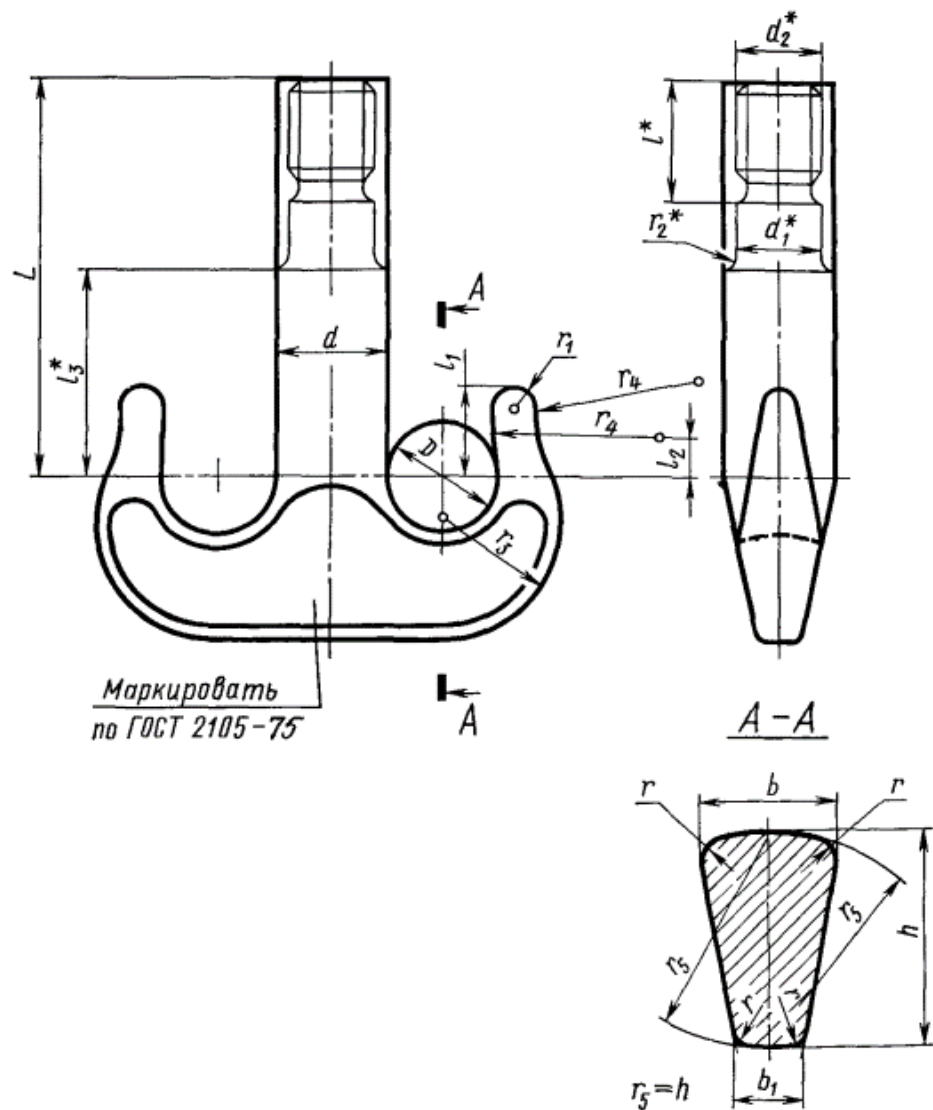


Рис. 1.1 Гак за ГОСТ 6628—73 (заготовка)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

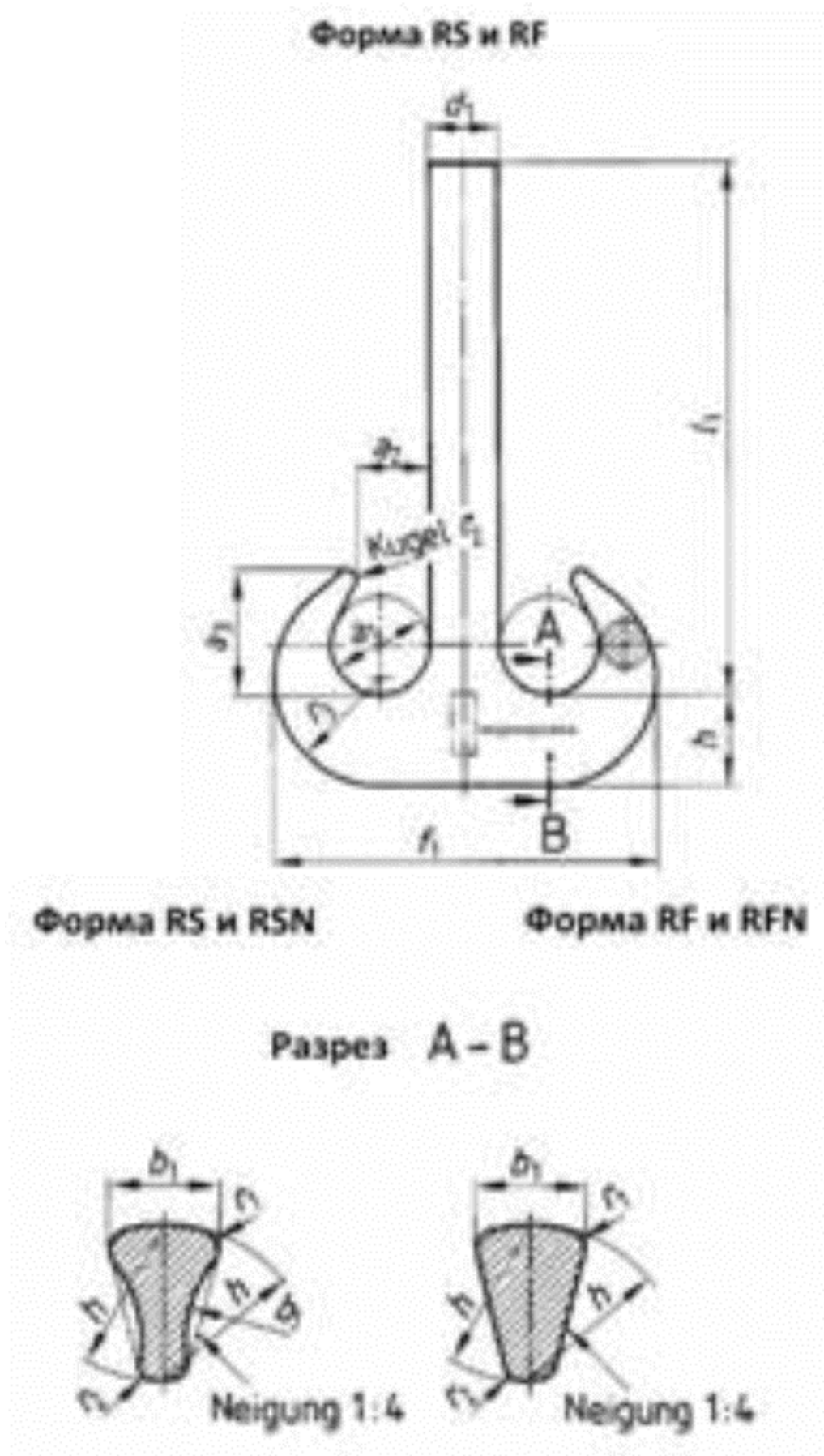


Рис. 1.2 Гаки дворогі, розмір типа RS, RSN, RF, RFN по DIN 15402

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

9

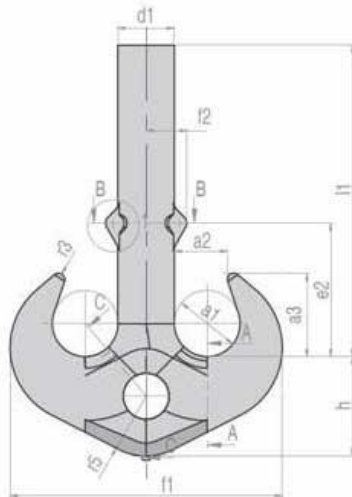


Рис. 1.3 Гаки дворогі, розмір типу "В" DIN 15402-B (№ 20 по 250)

Пластинчасті гаки (ГОСТ 6619-75) виготовляють наступних типів: однорогі, вантажопідйомністю 40 ... 315 т для ливарних кранів; дворогі вантажопідйомністю 80 ... 320 т для кранів загального призначення.

Область застосування дворогих вантажних гаків:

1. Крани великої вантажопідйомності:

Баштові крани: використовуються для будівництва висотних будівель, мостів та інших великих об'єктів.

Козлові крани: використовуються для навантаження вантажів на складах, портах, інших промислових підприємствах.

Мостові крани: використовують у цехах машинобудівних, металургійних, інших промислових підприємств.

2. Підйом довгомірних вантажів:

Сортовий метал: труби, балки, арматура.

Лісоматеріали: колоди, дошки, пиломатеріали.

Будівельні матеріали: залізобетонні плити, колони, ригелі.

3. Підйом вантажів в обмеженому просторі:

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шахти: для підйому та спуску людей, матеріалів, обладнання.

Суднобудування: для монтажу та демонтажу суднових елементів.

Ремонтні роботи: для підйому та переміщення важких елементів в обмеженому просторі.

4. Підйом вантажів, які потребують особливої обережності:

Вибухонебезпечні вантажі: для безпеки при переміщенні.

Крихкі вантажі: для запобігання пошкодженню під час підйому.

Цінні вантажі: для забезпечення безпеки при транспортуванні.

Переваги дворогих гаків:

Підвищена вантажопідйомність: порівняно з однорогими гаками.

Поліпшена стабільність: за рахунок двох точок опори.

Рівномірний розподіл навантаження: на обидва роги.

Зниження ризику перекидання: вантажу під час підйому.

Універсальність: можливість використання для різних вантажів.

Недоліки дворогих гаків:

Велика маса: порівняно з однорогими гаками.

Вища вартість: порівняно з однорогими гаками.

Складність конструкції: порівняно з однорогими гаками.

Особливості використання:

При виборі вантажопідіймального гака необхідно враховувати його вантажопідйомність, конструкцію, сферу застосування.

Крюк повинен відповідати вимогам безпеки та мати сертифікати відповідності.

Перед використанням гака необхідно провести його огляд та випробування.

1.2 Концепція конструювання гаків по ГОСТ

Форма гаків обрана такою, щоб забезпечити їх мінімальні розміри і масу при достатній міцності, однаковою у всіх перерізах [9].

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідним розміром при конструюванні дворогого гака є діаметр зів'язи D (рис. 1.1), який приймають з урахуванням умов розміщення в ньому двох гілок прядив'яного каната або зварного ланцюга.

При проектуванні гака, форма і розміри або вантажопідйомність якого не відповідають стандартизованим, необхідно провести розрахунок його міцності. Оскільки вантажні гаки за формою можна віднести до брусів великої кривизни, а формули розрахунку на міцність більш зручні для перевірки напружень в перерізах з прийнятими розмірами, ніж для безпосереднього визначення необхідних розмірів перерізів гака, то при проектуванні нових гаків доцільно спочатку наближено визначити розміри перерізів гака без урахування кривизни, компенсуючи допущену неточність зменшенням допустимих напружень, а потім виконати уточнений перевірочний розрахунок на міцність з урахуванням кривизни.

При підвішуванні вантажу на дворогі гаки чалкові канати та ланцюги повинні накладатися так, щоб навантаження на обидва роги гака розподілялися рівномірно. Тому при розрахунку зазвичай приймається припущення, що кожен ріг діє навантаження від $G/2$, спрямована під кутом 45° до вертикалі (рис. 1.4)

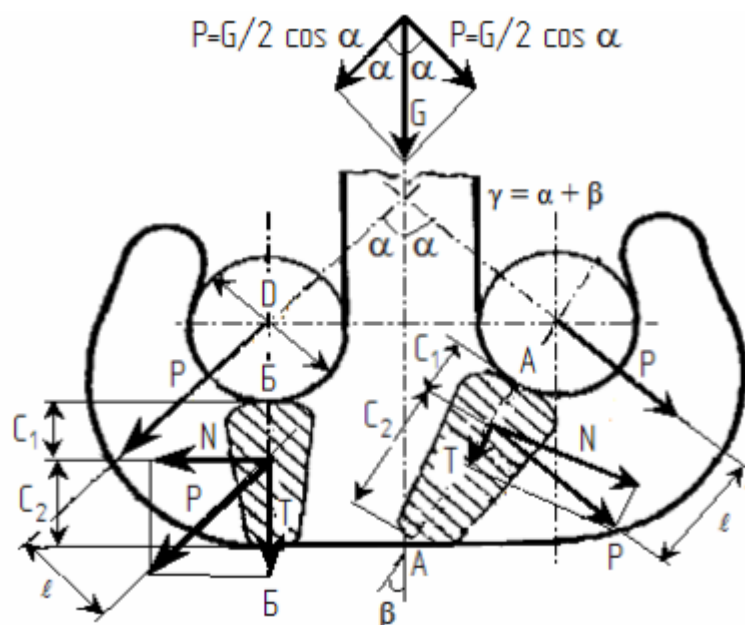


Рис. 1.4 Розрахункова схема дворогого гака при симетричному накладанні зусиль.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

12

Для кращого використання механічних властивостей матеріалу форму перерізу гака слід підбирати такий, щоб сумарні напруження в точках 1 і 2 були однаковими за абсолютним значенням. Такі напруження мають місце в гаку з перерізом у вигляді трапеції з округленими кутами.

Крім того, гаки розраховують на однобічне навантаження (рис. 1.5)

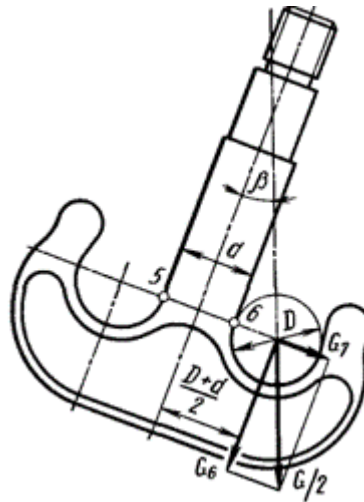


Рис. 1.5 Розрахункова схема дворого гака при однобічному накладанні зусиль

Згідно [12], в небезпечних перерізах гак розраховується як кривий брус, навантажений ексцентрично прикладеним зусиллям G .

Зазвичай застосовують стандартні гаки, у яких найбільша вантажопідйомність перевищує в середньому на 20% паспортну масу вантажу, що піднімається краном. Гаки одиничного виробництва розраховують на міцність як брус великої кривизни. При цьому його хвостовик розраховують на розтягнення по допустимому напруженню $[\sigma]_p = (0,25 \dots 0,28) \sigma_T$, а криволінійну частину - в залежності від режиму роботи по напруженню $[\sigma]_p = \sigma_T / (1,05 \dots 1,065)$ (табл.1.1).

Табл. 1.1 Допустиме напруження $[\sigma]$ при розрахунку кованих і штампованих гаків

Частина гака	Види напружень	Допустимі напруження при режимах		
		1М	2М, 3М, 4М	5М, 6М
Криволінійна	Згин	$\sigma_T / 1,05$	$\sigma_T / 1,3$	$\sigma_T / 1,65$
Прямолінійна	Розтяг		$\sigma_T / 5$	

1.3 Аналіз публікацій

Обґрунтування необхідності інженерного аналізу конструкцій гаків вантажопідіймальних машин, що випускаються в Україні, виконали

О.В. Грігоров, Е.І. Сердюков, Л.М. Степочкин [15].

У статті виконано порівняння гаків вантажопідіймальних машин, що виготовляються за нормативним документам Німеччини, і нормативним документам, чинним в Україні.

Розгляд стандартів Німеччини DIN по крюкам пов'язано з тим, що по лінії FEM вони є загальноєвропейськими стандартами.

Порівняння стандартів України та Німеччини [1 – 8, 15] показує, що:

1. Діапазони вантажопідйомності гаків по DIN і ГОСТ значно відрізняються. Для гаків по DIN він знаходиться в межах 0,1 ... 500 т, гаків по ГОСТ - 0,4 ... 100 т.

Великий діапазон вантажопідйомності гаків по DIN обумовлений, перш за все, тим, що тут передбачено п'ять класів міцності - М, Р, S, Т і V, в той час як для гаків по ГОСТ - один.

2. Значно відрізняються маси і розміри гаків по DIN і ГОСТ однаковій вантажопідйомності при однакових умовах роботи. Наприклад: для класу V і групи класифікації механізму підйому М3 по ISO 4301/1 [9].

При вантажопідйомності 100 т гак по DIN (№ 20), приблизно, в 5 разів легше однорозного гака по ГОСТ (№ 26). Розмір крюкової частини менше в 2 рази, товщина гака - в 1,4 рази;

Для класу S і групи класифікації М4 при вантажопідйомності 50т гак по DIN (№20), приблизно, в 2,5 рази легше гака по ГОСТ (№ 23). Розмір крюкової частини менше, приблизно, в 1,5 рази; товщина, практично, однакова.

Для класу М і групи класифікації М6 при вантажопідйомності 20 т гак по DIN (№20), приблизно, на 20% важче гака по ГОСТ (№19). Розмір крюкової частини більше, приблизно, на 20%, товщина - на 36%.

Такі ж результати порівняння виходять для класу М і групи класифікації М7 при вантажопідйомності 16 т;

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для класу М і групи класифікації М8 при вантажопідйомності 80 т, максимальною для гаків по ГОСТ цієї групи класифікації, гак по DIN (№ 125) важче гака по ГОСТ (№ 26) в 2,7 рази. Розмір крюкової частини більше, приблизно, в 1,2 рази, товщина - в 1,8 рази.

Для групи класифікації М7 при вантажопідйомності 80 т гак по DIN (№100) важче гака по ГОСТ (№ 26) в 1,9 рази.

Для класу М і групи класифікації М8 при вантажопідйомності 0,25 т, мінімальної для гаків по ГОСТ, гак по DIN (№04) важче гака по ГОСТ (№ 1) в 5,8 рази.

Тобто при легких умовах роботи гаки по DIN набагато легше і менше гаків по ГОСТ, при середніх - легше приблизно в 2 рази.

При важких умовах роботи картина зворотна - гаки по ГОСТ легше гаків DIN, особливо при мінімальних і максимальних вантажопідйомність.

3. Для виготовлення гаків по DIN застосовуються сталі леговані хромом, нікелем, молібденом, в той час як гаки по ГОСТ виготовляються тільки зі сталі 20 або її замінника сталі 20Г (вимога ГОСТ 2105).

4. Зниження маси гаків досягається також за рахунок застосування оптимальної форми поковок.

У гаках по ГОСТ вертикальні і горизонтальні розрахункові поперечні перерізи зіву крюка однакові.

У гаках по DIN горизонтальний поперечний переріз, де діє максимальний згинальний момент, істотно більше вертикального, а переріз зіву плавно збільшується від вертикального до горизонтального.

У гаках форми RSN (одна з трьох форм гаків по DIN 15401, частина перша) застосовуються також зменшення (звуження) перерізів в зоні нейтральної осі (рис. 1.2).

Рациональному конструюванню гаків по DIN сприяють різні напруження в небезпечних перерізах, що залежать від класу міцності, групи класифікації та № гака, нормовані DIN 15400.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміри і матеріал гаків підібрані так, що співвідношення між дійсними напруженнями (максимальними теоретичними при максимальному навантаженні) і межею текучості зберігаються приблизно однаковими для однакових груп класифікації і практично не залежать від класу міцності гаків.

Тобто, використовується концепція конструювання гаків, відмінна від використовуваної для гаків по ГОСТ.

Застосування виключно сталі 20 для вітчизняних гаків пов'язано з зайвою консервативністю [15].

Пропонувалося введення в Україні європейських стандартів по крюкам, або введення таблиць їх відповідності.

У дослідженнях [15,17,23] обґрунтована перспективність удосконалення розрахунків гаків з урахуванням використання пластичних властивостей матеріалу і опору втоми. Відзначається, що створення і впровадження нових методів розрахунку гаків може забезпечити значне зменшення їх розмірів і маси. Важливими резервами економії є оптимізація розмірів стандартизованих гаків і використання для їх виготовлення легованих сталей [9].

1.4 Застосування методу скінчених елементів для оптимізації конфігурації заготовки гака

Метод скінчених елементів широко застосовується для аналізу міцності, жорсткості і стійкості металоконструкцій вантажопідіймальних машин [10,13,14]. Цей метод реалізований у вигляді потужних промислових програмних комплексів [18,19,20,24,25].

Задача може бути сформульована у вигляді статичного аналізу міцності. Такий тип аналізу найбільш часто використовується для визначення концентрації напружень в конструктивних елементах, для визначення переміщень, напружень, деформацій і зусиль, які виникають у виробі в результаті дії механічних сил.

Метод скінчених елементів може бути використаний для оптимізації конфігурації деталей машин і елементів конструкцій вантажопідійомних машин [17-29].

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На першому етапі будується вихідна скінчено елементна модель досліджуваного об'єкта. Після чисельного аналізу напружено-деформованого стану методом скінчених елементів визначаються найменш навантажені області конструкції. Програма оптимізації видаляє частину скінчених елементів, що лежать в цих зонах.

Далі проводиться новий розрахунок і видаляються елементи з низькими напруженнями. Даний процес багаторазово повторюється, поки напруження в межах всього об'єкта не будуть розподілені рівномірно. В результаті розрахунку виходить оптимальна конструкція меншою масою, чи більшою жорсткістю.

1.5 Проблеми інженерного аналізу дворогого гака

Інженерний аналіз (CAE) - це програмний продукт для розрахунку характеристик і поведінки виробу з метою їх поліпшення або вирішення виниклих технічних проблем. Інженерний аналіз широко застосовується в різних галузях промисловості. Він включає чисельне моделювання, перевірку та оптимізацію характеристик і поведінки виробу.

Стандартний процес складається з трьох етапів: препроцесінг, запуск на розрахунок і постпроцесінг. На етапі препроцесінга інженери створюють геометрію, задають фізичні властивості виробу, навантаження і обмеження. Потім відбувається запуск моделі на розрахунок з використанням відповідних формул і фізичних процесів. На етапі постпроцесінгу інженер отримує результати для подальшого аналізу.

1.6 Висновки з розділу

1. Випуск і застосування вантажопідйомних гаків в Україні регламентується нормативними документами, розробленими більше 50 років тому [1, 2, 3].
2. В даний час накопичений значний досвід експлуатації імпоротної вантажопідйомної техніки, що використовує кранові гаки, виконані за стандартами DIN [4,5, 6, 7, 8].

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3. Порівняння стандартів України та Німеччини показує, що при рівній вантажопідйомності при однакових класах і групах класифікації розмірно-масові характеристики виробів відрізняються в рази, причому не у всіх випадках на користь гаків, виконаних по ГОСТ [9].
4. Цей факт вказує на актуальність проведення інженерного аналізу вантажопідйомних гаків, які випускаються в Україні, зокрема дворогих гаків ГОСТ 6627-74 [2] з метою визначення можливості вдосконалення конструкції.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Розділ 2

МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ

2.1 Загальний алгоритм розрахунку

Дослідження виконується засобами ПК SOLIDWORKS.

Алгоритм включає наступні етапи.

1. Створення базової геометричній моделі.
2. Створення скінчено елементної сітки.
3. Визначення властивостей матеріалу (зазвичай використовується лінійна ізотропна модель).
4. Визначення властивостей скінчених елементів.
5. Визначення кінематичних граничних умов (закріплень моделі в вузлах або по геометричних об'єктах).
6. Визначення силових граничних умов (зовнішніх навантажень, силових полів, температури).
7. Налаштування параметрів нелінійного розрахунку (якщо потрібно).
8. Вибір типу розрахунку, вибір граничних умов, визначення параметрів розрахунку.
9. Розрахунок конструкції.
10. Читання результатів розрахунку (отримання доступу до файлів з результатами і передача інформації в постпроцесор).
11. Перегляд результатів (побудова ізоліній, графіків, створення звітів, збереження інформації в файли).
12. Аналіз результатів.

2.2 Побудова 3D моделі гака

У зв'язку зі значною номенклатурою (14 позицій) виникає необхідність створення параметричної моделі гака.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Запропонована послідовність побудови моделі гака зі створенням таблиці параметрів конфігурацій для проведення інженерного аналізу моделі в програмі SOLIDWORKS [14].

Побудову виконано для гака №14 типу А ГОСТ 6628-73.

1. Побудова ескізу контуру профіля (Рис. 2.1)

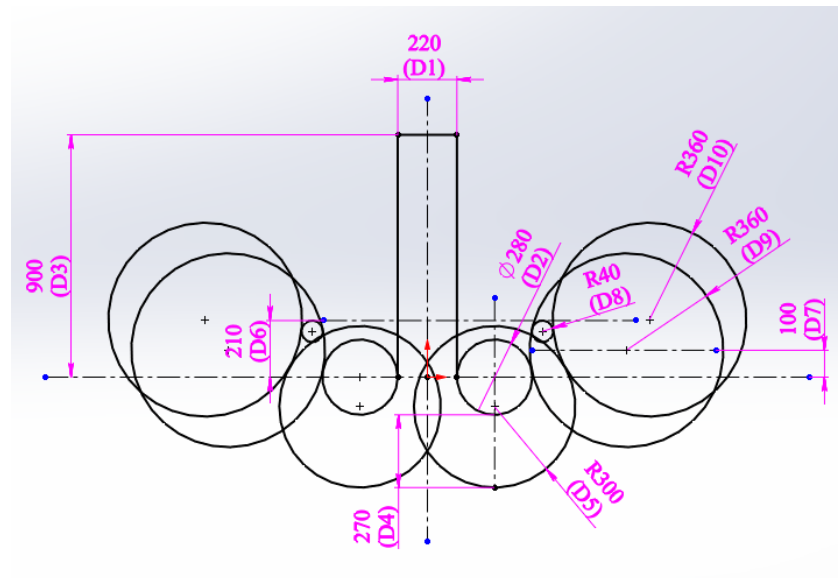


Рис. 2.1

2. Побудова площини перерізу гілки (рис. 2.2)

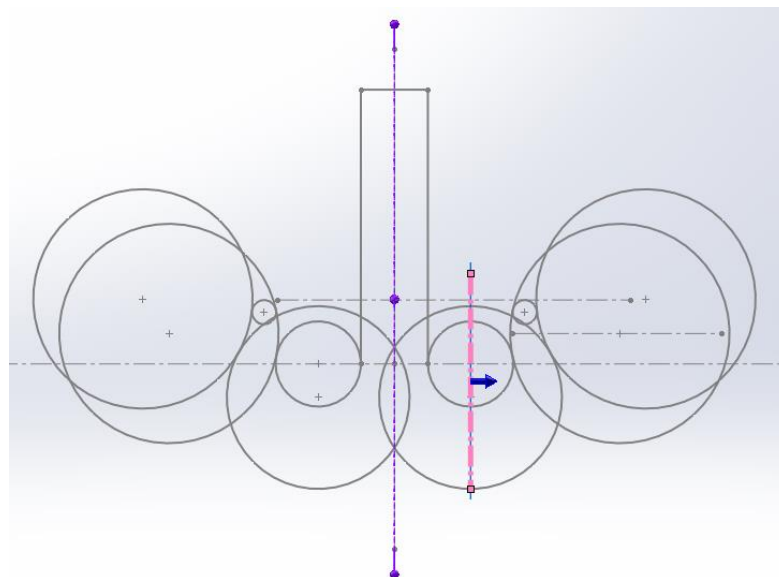


Рис. 2.2

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

20

3. Побудова ескізу перерізу гілки (рис. 2.3)

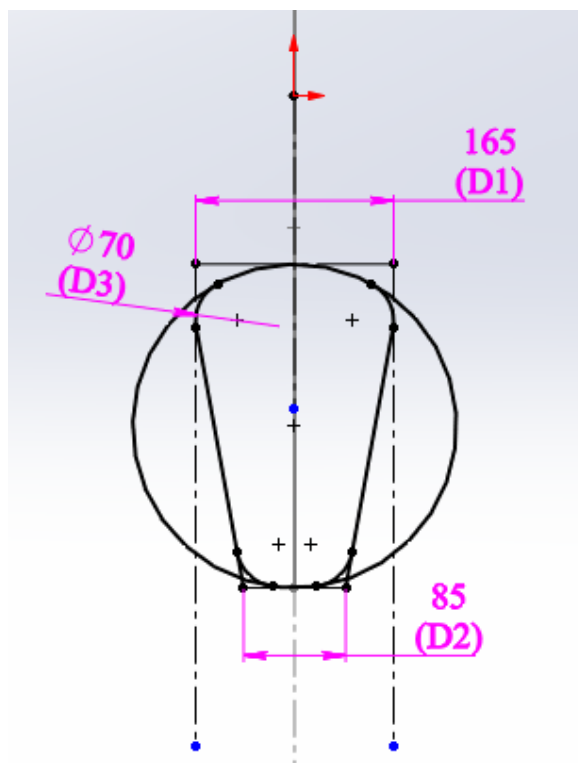


Рис. 2.3

4. Побудова площини перерізу дзьоба (рис. 2.4)

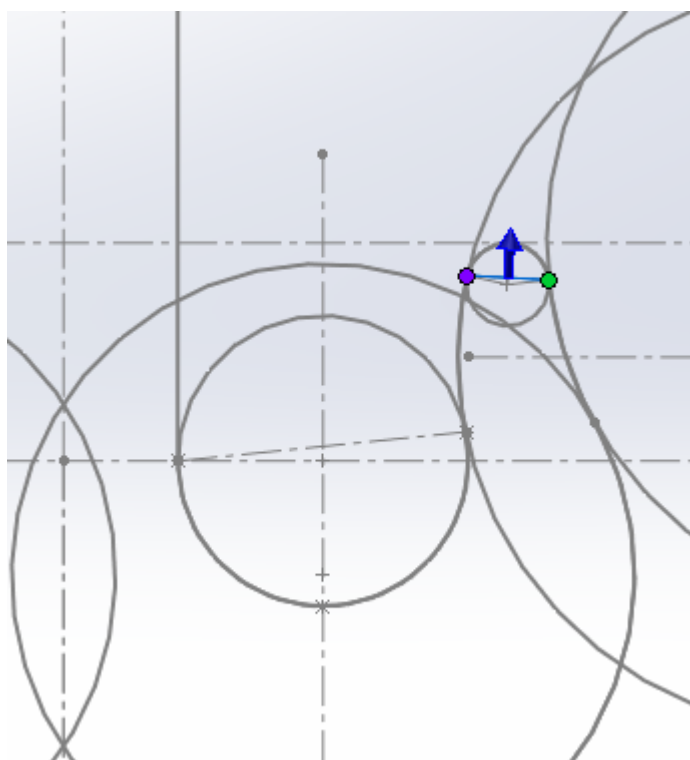


Рис. 2.4

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

21

5. Побудова перерізу дзьоба (рис. 2.5)

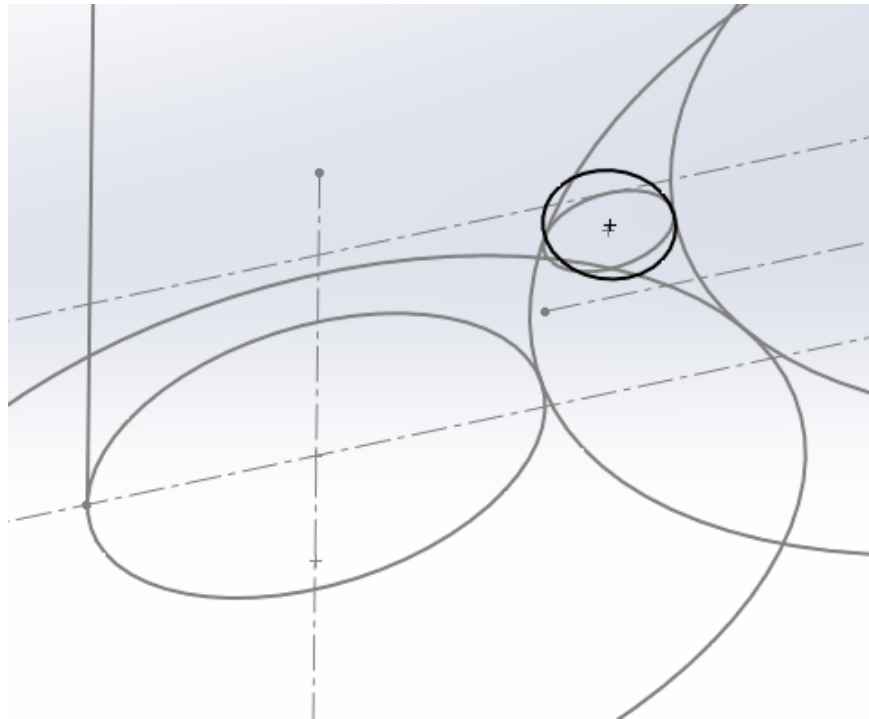


Рис. 2.5

6. Побудова внутрішньої направляючої контуру гілки (рис. 2.6)

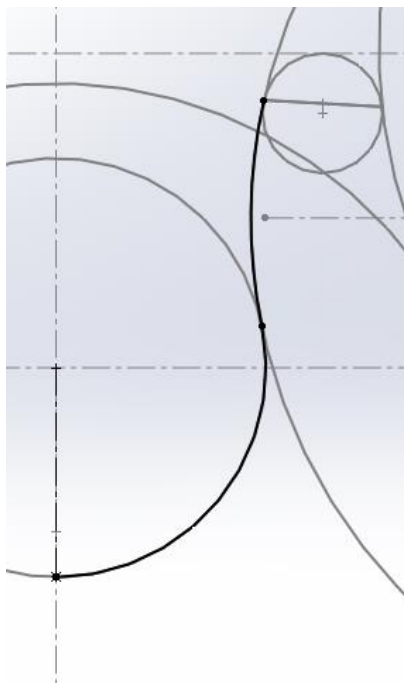


Рис. 2. 6

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

22

7. Побудова зовнішньої направляючої контуру гілки (рис. 2.7)

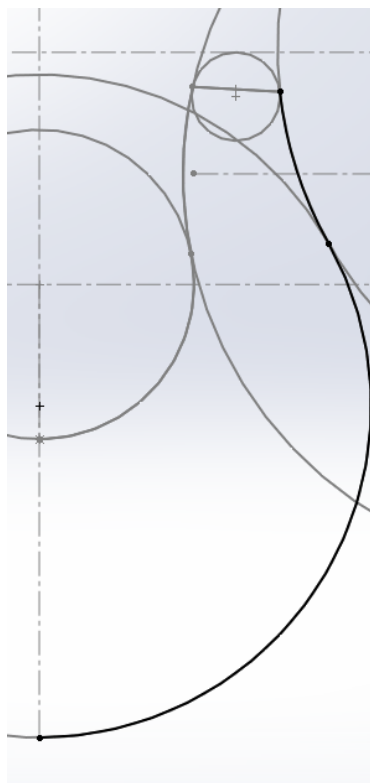


Рис. 2.7

8. Побудова поверхні гілки моделі по перерізам (рис. 2.8)

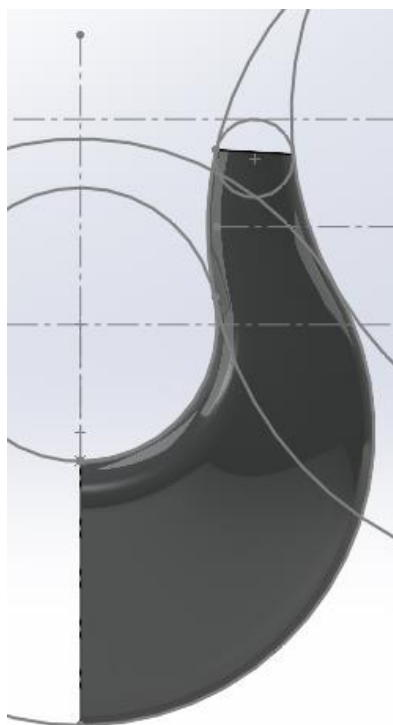


Рис. 2.8

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

23

9. Побудова контуру з віссю симетрії сфери дзьоба (рис. 2.9)

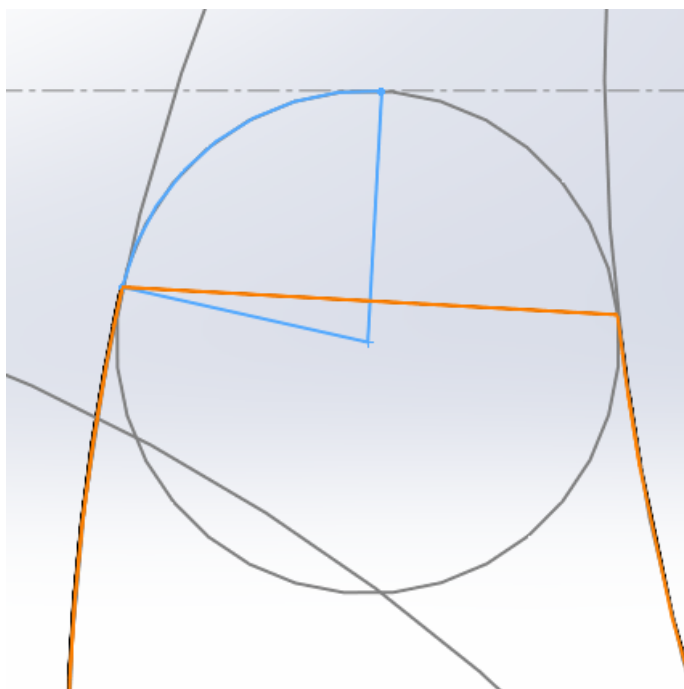


Рис. 2.9

10. Побудова твердотільної сфери дзьоба (рис. 2. 10)

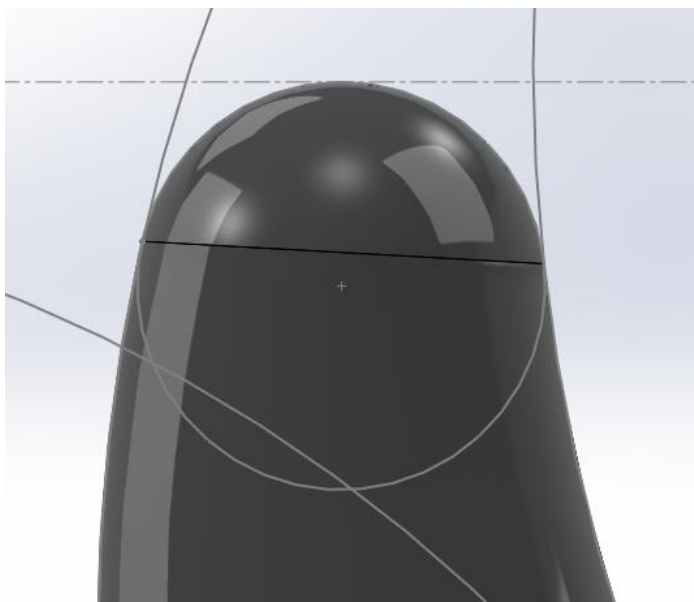


Рис. 2.10

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

24

11. Побудова ескізу перерізу підстави стовбура гака

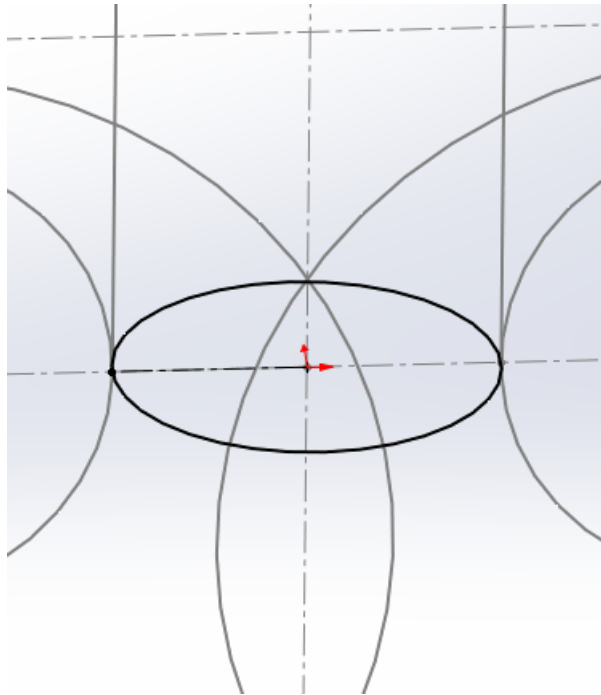


Рис. 2.11

12. Побудова допоміжного направляючого контуру (рис. 2.12)

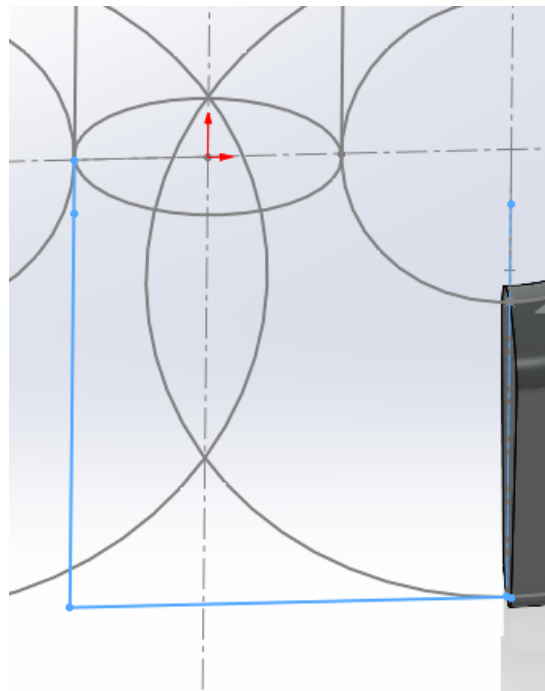


Рис. 2.12

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

25

13. Побудова поверхні фрагменту моделі по перерізам (рис. 2.13)

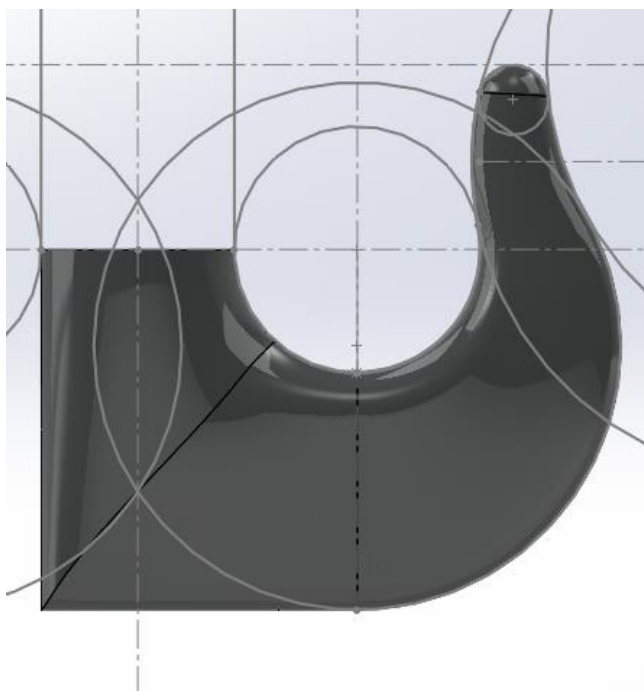


Рис. 2.13

14. Виріз площиною симетрії

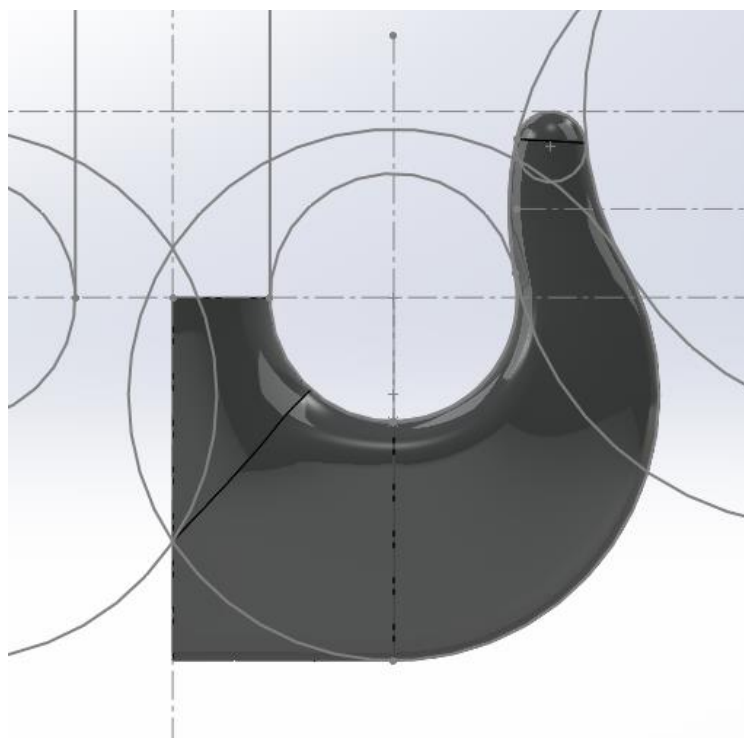


Рис. 2.14

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

26

15. Побудова дзеркального відображення гілки

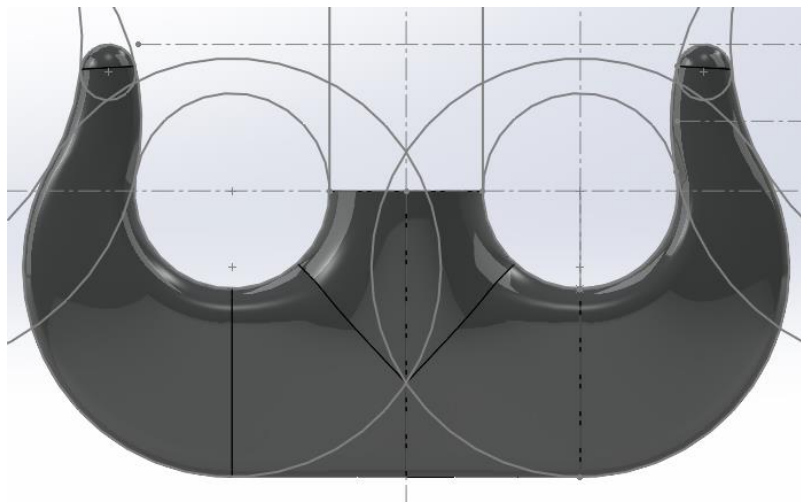


Рис. 2.15

16. Побудова контуру стовбура гака

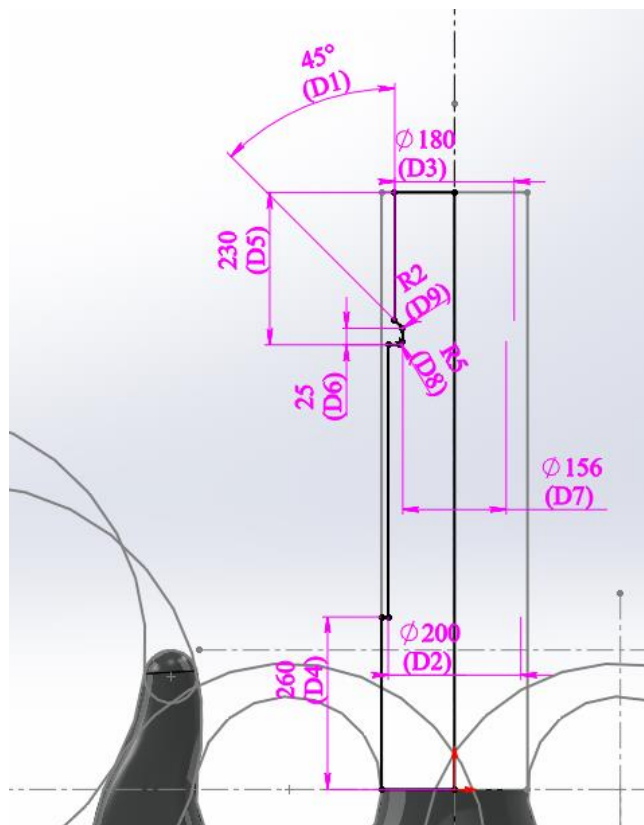


Рис. 2.16

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

27

17. Побудова стовбура (рис. 2.17)



Рис. 2.17

18. Побудова площини відсічення за правою стороною контуру перерізу гілки (рис. 18)

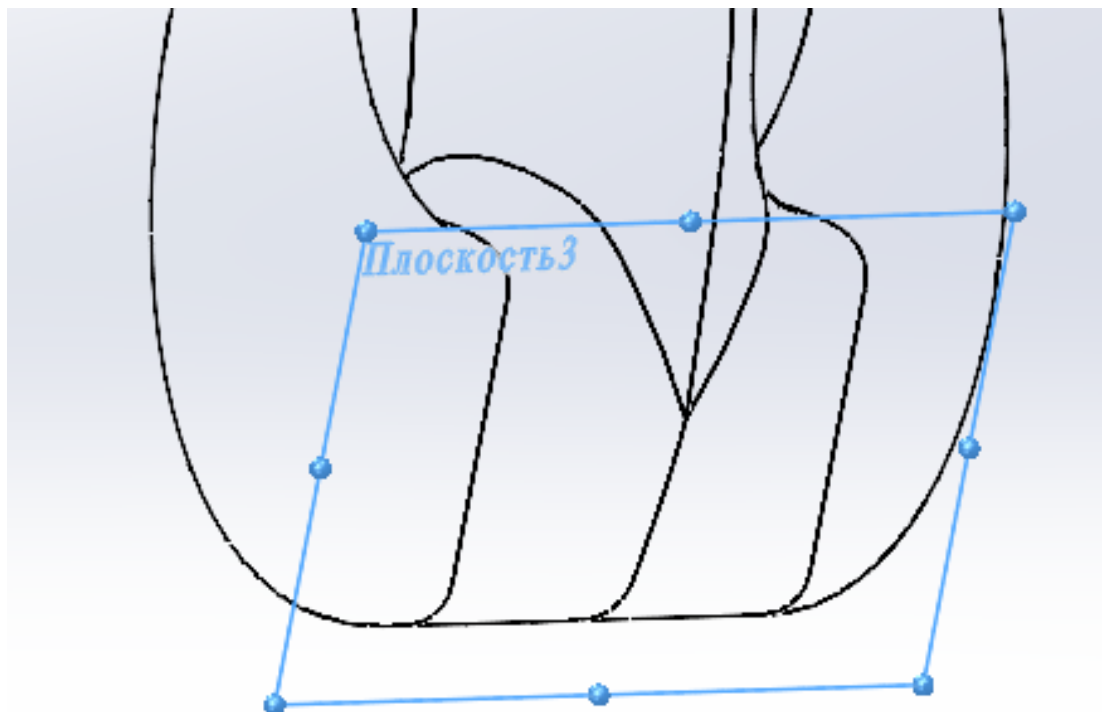


Рис. 2.18

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

28

19. Відсічення частини тіла гака площиною за п. 18

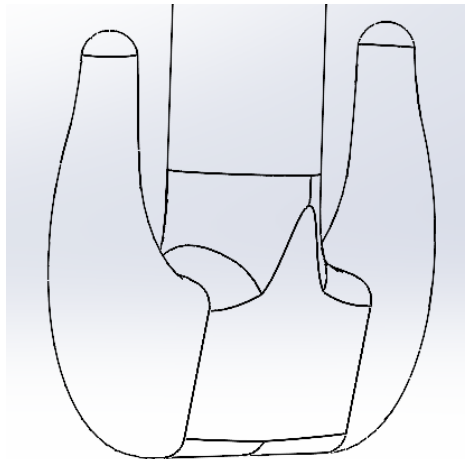


Рис. 2.19

20. Побудова площини відсічення за лівою стороною контуру перерізу гілки (п. 18)

21. Відсічення частини тіла гака площиною за п. 20

В результаті виконаних операцій, включаючи побудову фасок і закруглень отримуємо модель, придатну до утворення конфігурацій за ГОСТ 6628-73 (рис. 2. 20).

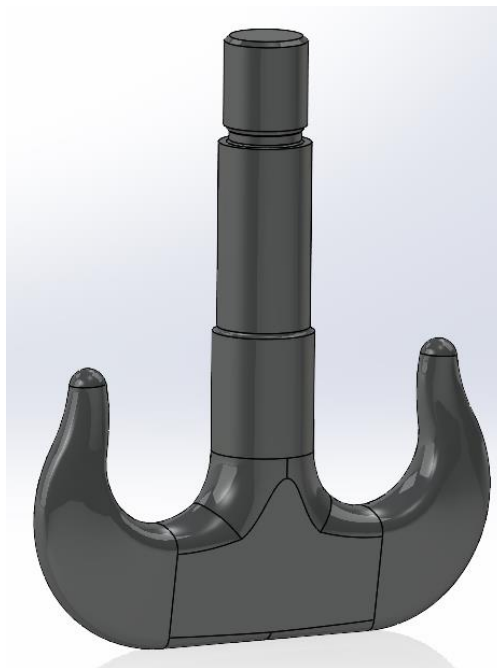


Рис. 2.20

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2.3 Параметризація 3D моделі гака

Таблиця параметрів розроблена згідно методики п. 2.1 за ГОСТ 6628-73 [1].

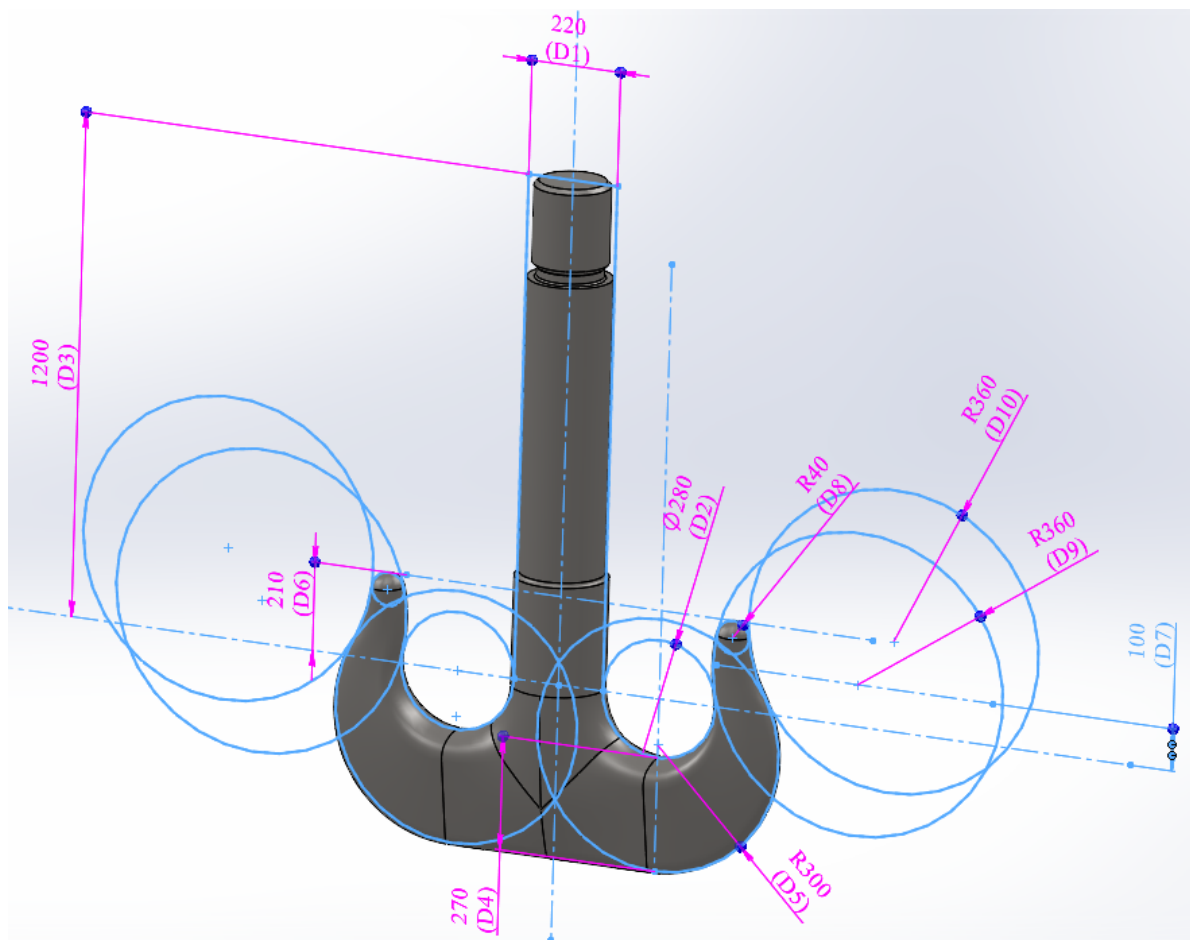


Рис. 2.21

2.4 Дослідження геометричної подібності гаків ГОСТ 6628-73

Досліджувалися показники знову побудованих моделей в порівнянні з даними ГОСТ 6628-73

Відповідно до теорії геометричної подібності співвідношення об'єму (маси M) моделі до його характерного розміру D :

$$M \propto D^3 \quad (2.1),$$

де D – діаметр зіву (рис.1.1);

M – маса гака.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

30

Якщо лінія тренду відповідає рівнянню 2.1 з достатнім ступенем достовірності, моделі геометрично подібні. В цьому випадку висновки щодо однієї моделі параметричного ряду конфігурацій можуть бути розповсюджені на будь яку модель цього ряду.

2.5 Дослідження напружено деформованого стану моделі

1. Матеріал деталі - "Проста вуглецева сталь" (бібліотека матеріалів solidworks materials). Тип моделі матеріалу: лінійний, ізотропний, пружний.

$$\sigma_T = 202,6 \text{ МПа (по Mises).}$$

Як критерій щодо діаграми коефіцієнта запасу міцності використовувати критерій максимальної напруги по Mises.

2. Властивості дослідження:

Тип аналізу	Статичний
Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Тип програми, що вирішує	Авто
Несумісні параметри зв'язку	Авто
Великі переміщення	Викл
Тертя	Викл
Використовувати адаптивний метод:	Викл

3. Інформація о сітці

Тип сітки	Сітка на твердому тілі
Використовуване розбиття:	Сітка на основі змішаної кривизни
Точки Якобіана для сітки високої якості	16 Точки
Максимальний розмір елемента	83,9889 mm
Мінімальний розмір елемента	16,7978 mm
Якість сітки	Висока

Всього вузлів 19606

Всього елементів 12252

Максимальне співвідношення сторін 36,157

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

% елементів з співвідношення сторін < 3	98
% елементів з співвідношення сторін > 10	0,18
Відсоток спотворених елементів	0

Як результати розрахунку розглянуті наступні діаграми:

- напруження vonMises;
- переміщення сумарне;
- коефіцієнт запасу міцності (FOS).

Напружено – деформований стан моделей визначалася за допомогою додатку SLIDWORKS SIMULATION «Статичний аналіз» для двох варіантів навантаження.

- №1. Навантаження на обидва роги гака розподіляється рівномірно. На кожен ріг діє навантаження від $G/2$, спрямоване під кутом $\alpha = 45^\circ$. Значення G обиралося з Додатку ГОСТ 6628-73 для машин і механізмів з машинним приводом з тяжким режимом роботи (рис. 2.21). Прикладалося зовнішнє навантаження «на об'єкт» від зусилля P (рис. 2.22).

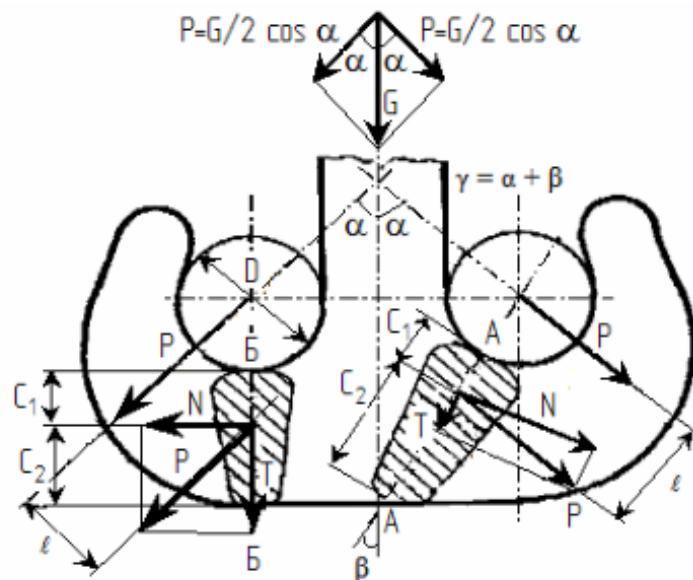


Рис. 2.22 Основна розрахункова схема гака

В додатку SLIDWORKS SIMULATION, «Статичний аналіз» розрахункова схема з кріпленням гака в обоймі «підшипник» приймає вигляд, показаний на рис. 2.23.

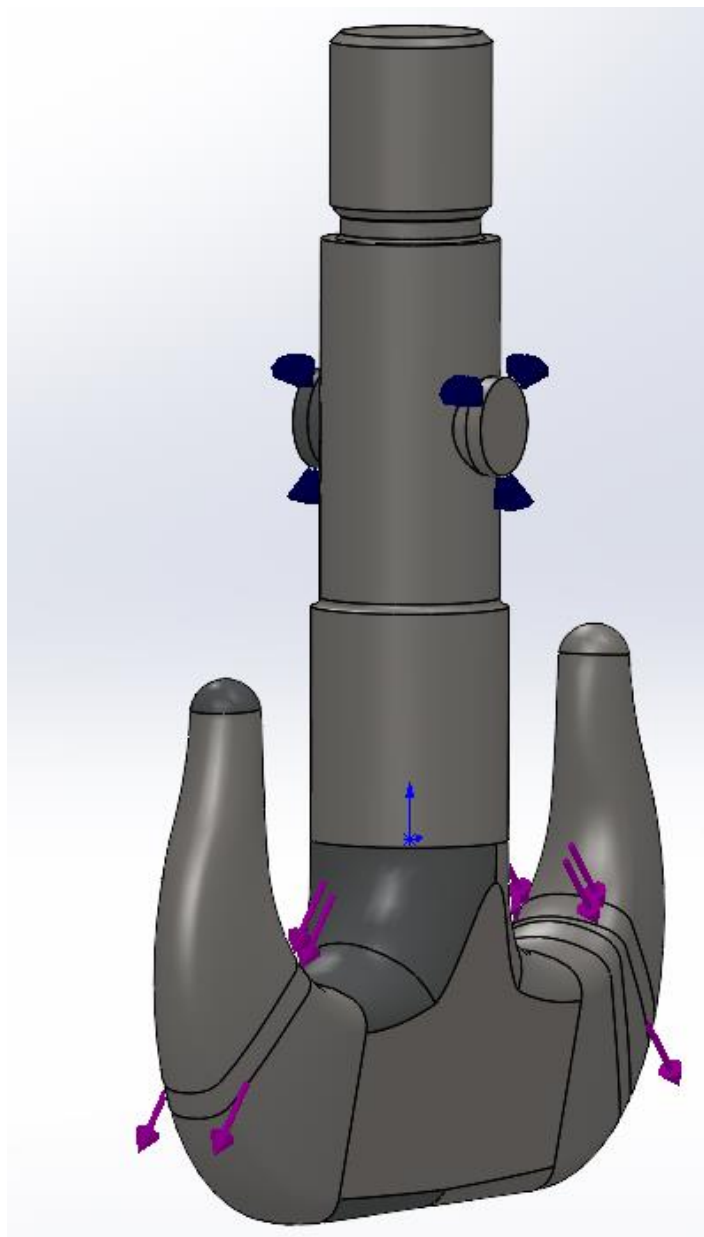


Рис 2.23 Розрахункова схема гака з навантаженням №1 в дослідженні SOLIDWORKS SIMULATION

- №2. Вантаж підвішений на один ріг (рис. 2.23). Значення вантажу $G/2$, де β - кут нахилу гака, що визначається графічно (на одній вертикалі розташовують центр кола навантаженого зівга гака і центр повороту обойми (точка перетину осей блоків і хвостовика).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

33

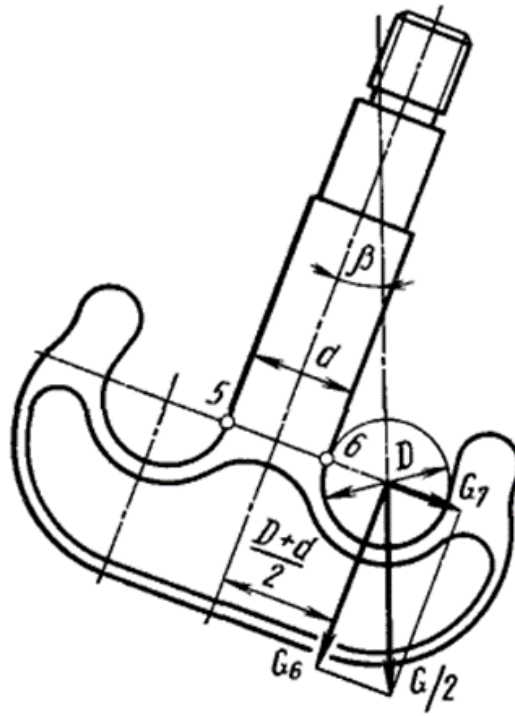


Рис. 2.23

В додатку SLIDWORKS SIMULATION, «Статичний аналіз» розрахункова схема з кріпленням «підшипник» хвостовика за торці тимчасово утвореної бобишки приймає вигляд, показаний на рис. 2.24.

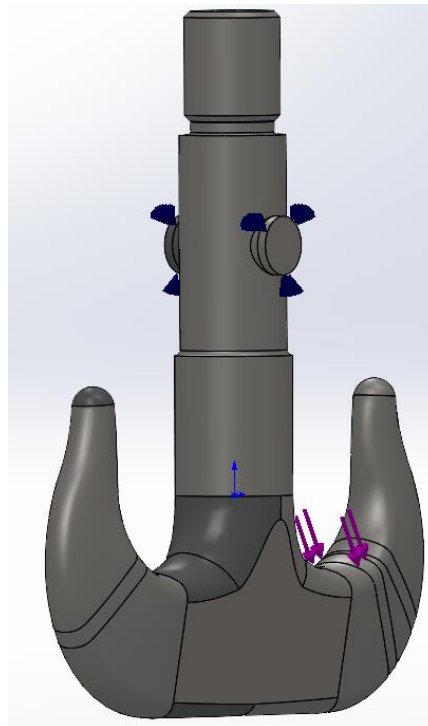


Рис. 2.24 Розрахункова схема гака з навантаженням №2 в дослідженні SOLIDWORKS SIMULATION

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

34

2.6 Визначення найменш навантажених елементів моделі

Виконується візуалізацією розподілених напружень з використанням інструмента *Design Insight* для виявлення найменш навантажених елементів моделі (рис. 2.25).



Рис. 2.25 Візуалізація навантаження елементів

Досвід експлуатації стандартизованих гаків визначив ергономічність поверхонь виробів, які контактують зі стропильним обладнанням.

Таким чином контури гаків змінам не підлягають.

Геометричні співвідношення розмірів перерізу гаків, а також нарізної частини можна рахувати визначеними теоретично і експериментально як оптимальні.

Виправданим є видалення частини матеріалу середньої частини гака.

Утворення отвору в моделі змінює співвідношення жорсткості її елементів, що призводить до зміни картини навантаження.

Процес обрання форми отвору має ітераційний характер.

2.7 Обрання параметрів отвору

Абрис отвору визначається експертним шляхом з міркувань технологічності виконання. Параметри отвору визначаються розв'язанням задачі оптимізації параметрів отвору за допомогою «Дослідження проектування» SOLIDWORKS SIMULATION.

Завданням «Дослідження проектування» є обрання параметрів отвору, що забезпечує мінімальну металоємність конструкції при збереженні міцності і жорсткості. Критерієм міцності приймався коефіцієнт запасу міцності K_3 (за

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мізесом). Вважалося допустимим зниження значення K_3 на 2% від K_3 гака ГОСТ 6628-73 .

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Розділ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Дослідження геометричної подібності гаків ГОСТ 6628-73

На рис. 3.1 представлені значення маси моделей M_{mod} , а також маси M_{tab} гаків ГОСТ 6628-73 у спів підставленні з розміром D (рис.).

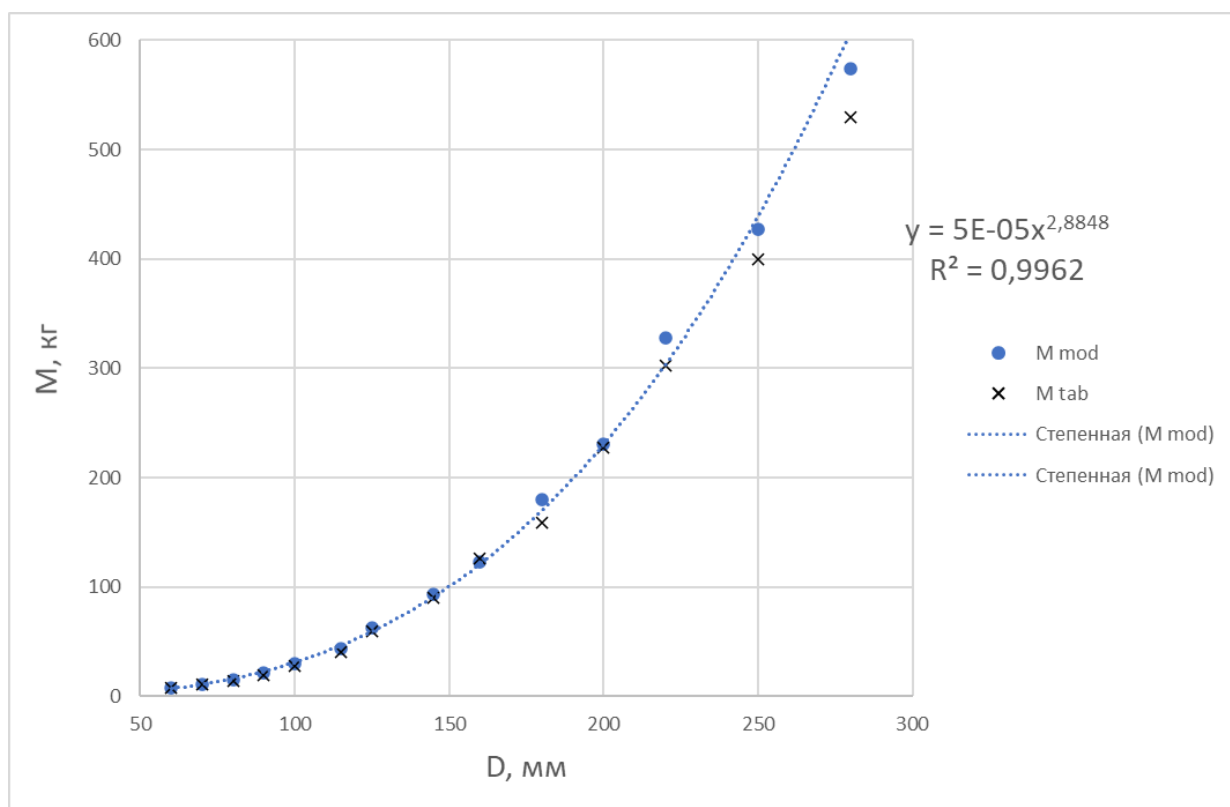


Рис. 3.1 Залежність маси моделей M_{mod} , і маси M_{tab} гаків ГОСТ 6628-73 від розміру D .

Лінія тренду відповідає рівнянню 2.1 з достатнім ступенем достовірності. Моделі геометрично подібні. Висновки щодо однієї моделі параметричного ряду конфігурацій можуть бути розповсюджені на будь яку модель цього ряду.

3.2 Статичний аналіз моделі гака ГОСТ 6628-73

3.2.1 Порівняння напружено – деформованого стану моделі гака ГОСТ 6628-73

3.2.1.1 Звіт з визначення напружено – деформованого стану гака №14А за варіантом навантаження №1 представлено в Додатку 1. Характеристики напруженого стану моделі показана на рис. 3.1. Характеристика деформації (максимального відносного переміщення ділянки) показана на рис. 3.2

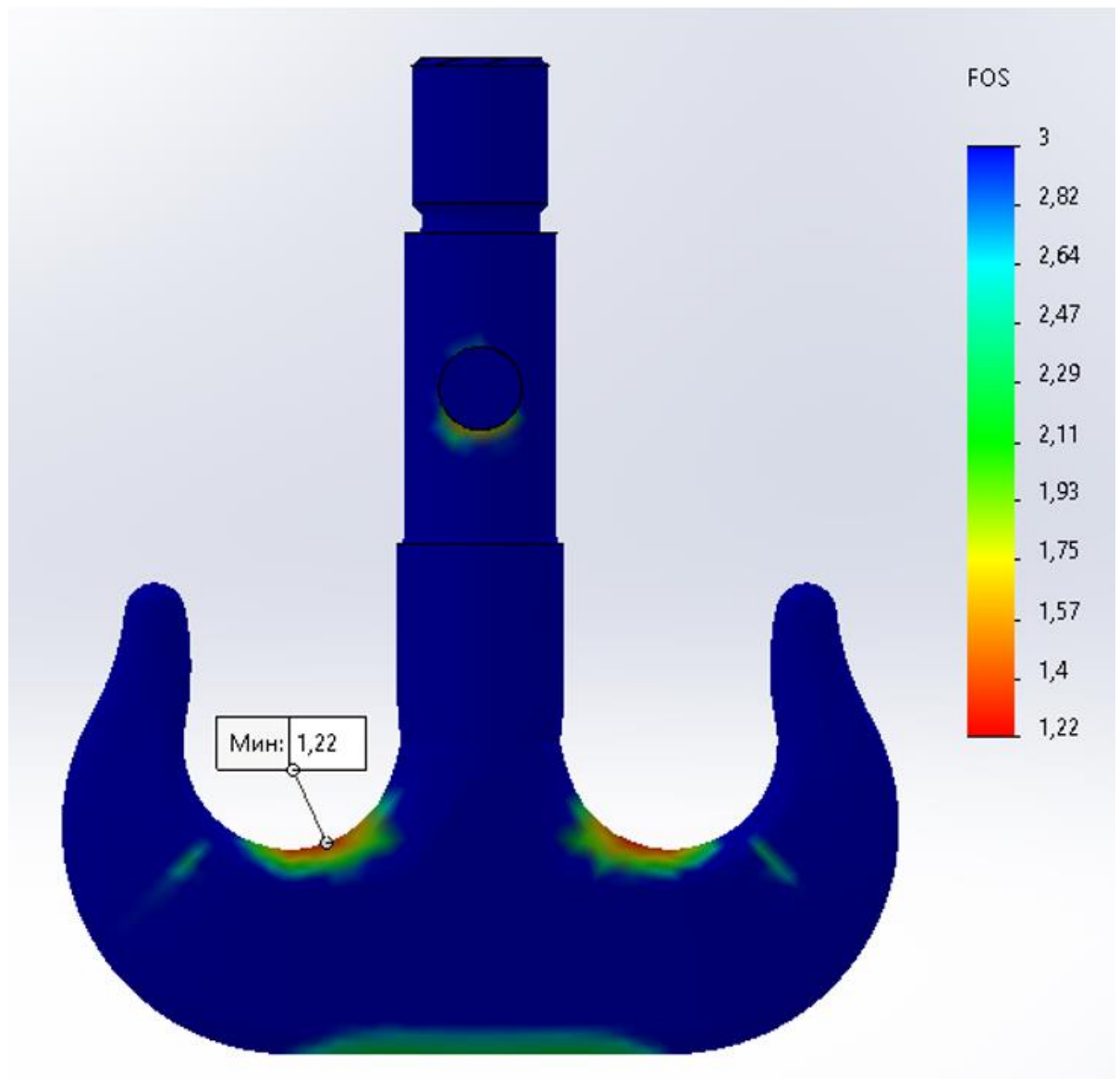


Рис. 3.1 Характеристика напруженого стану гака при навантаженні №1
 $K_3 = 1,22$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

38

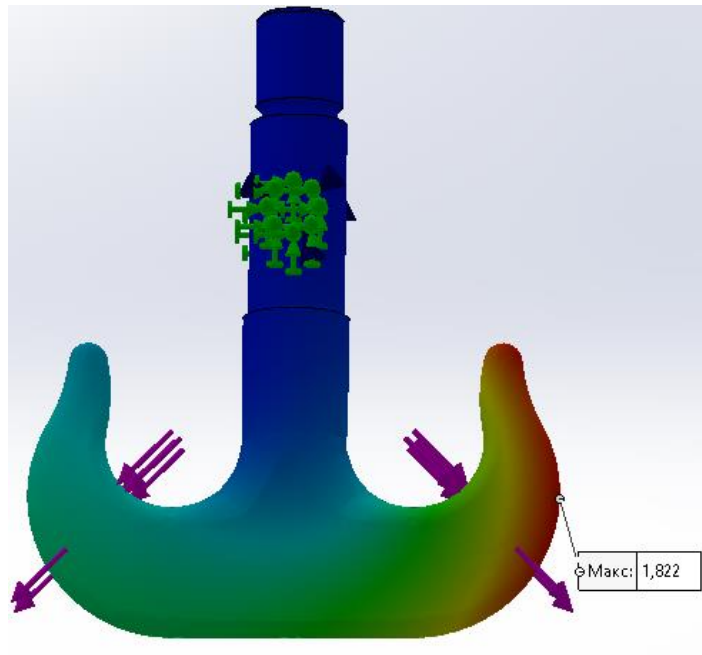


Рис. 3.2 Максимальне відносне переміщення ділянки гака при навантаженні №1

$$\Delta = 1,8\text{мм}$$

3.2.1.2 Напружено – деформований стан гака №14А за варіантом навантаження №2 представлено в Додатку 2. Характеристики напруженого стану моделі показані на рис. 3.3. Характеристика деформації (максимального відносного переміщення ділянки) показана на рис. 3.4

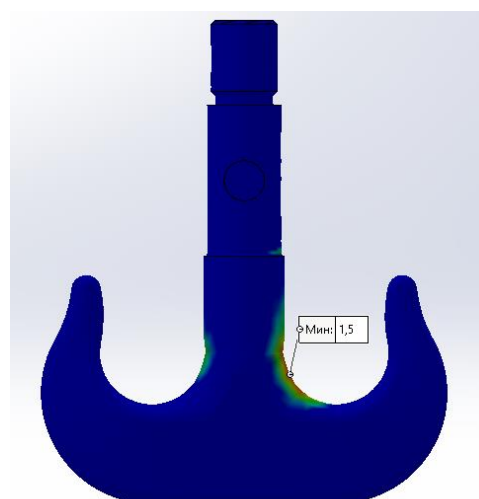


Рис. 3.3 Характеристика напруженого стану гака при навантаженні №2
 $K_3 = 1,5$

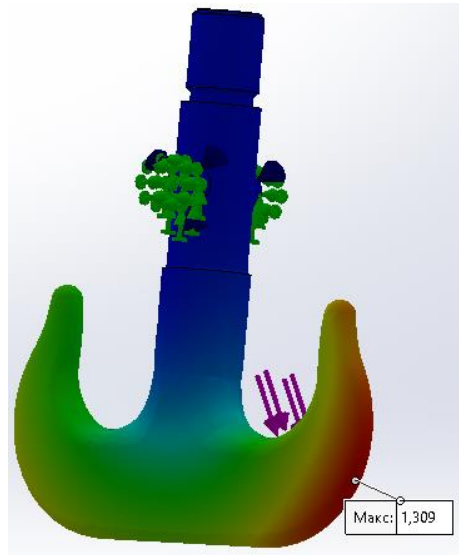


Рис. 3.4 Максимальне відносне переміщення ділянки гака при навантаженні №2

$$\Delta = 1,3\text{мм}$$

Проміжний висновок: за основу для порівняння варіантів конструкції гака прийняти $K_3 = 1,22$, маса моделі $M = 578\text{кг}$.

3.2.2 Дослідження картини розподілу найбільш напружених ділянок гака ГОСТ 6628-73

3.2.2.1 Розподіл напружень при навантаженні №1 представлений на рис.3.5

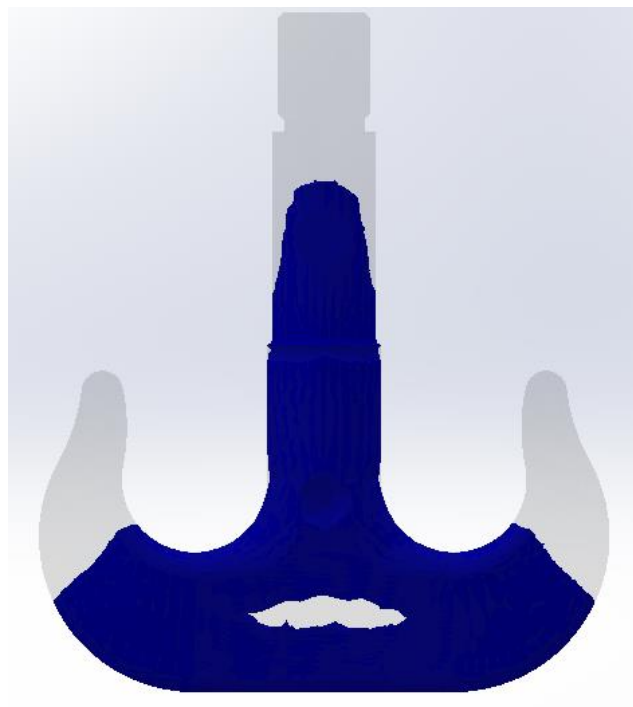


Рис. 3.5 Розподіл напружень при навантаженні №1

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення опорних розмірів найменш напруженої ділянки показано на рис. 3.6.

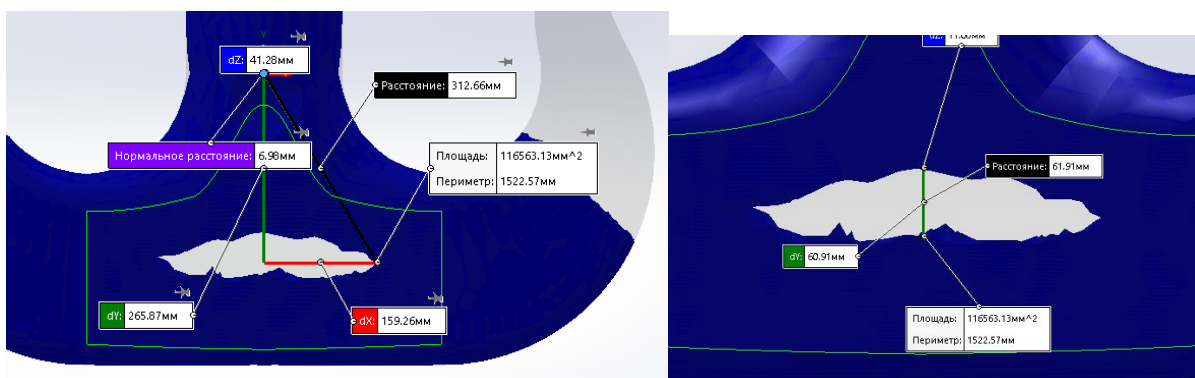


Рис. 3.6 Розміри найменш напруженої ділянки при навантаженні №1

3.2.2.2 Розподіл напружень при навантаженні №2 представлений на рис.3.7

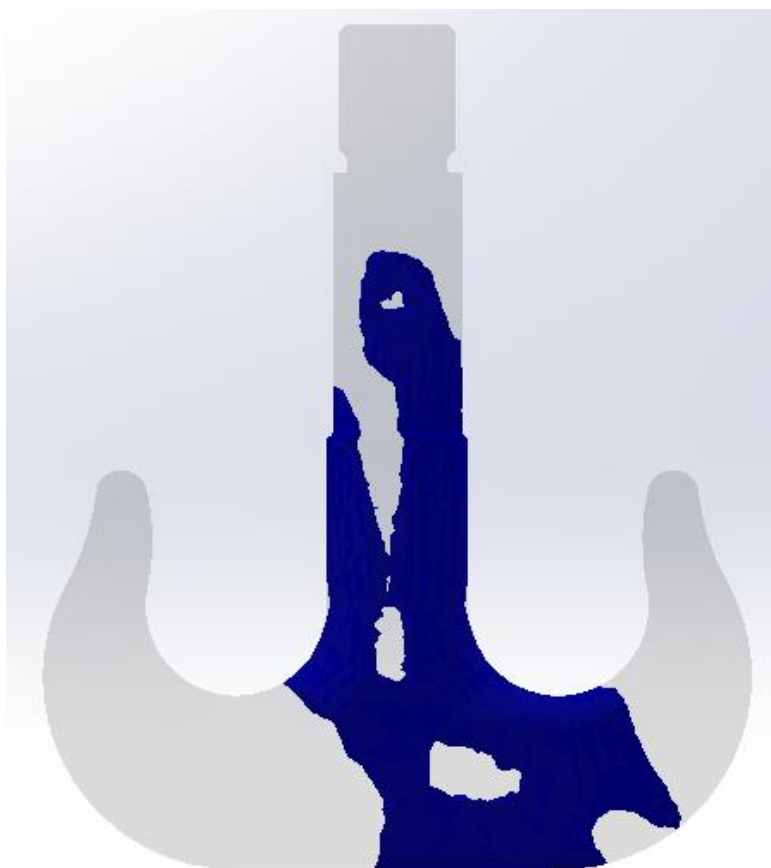


Рис. 3.7 Розподіл напружень при навантаженні №2

Визначення опорних розмірів найменш напруженої ділянки показано на рис. 3.8.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

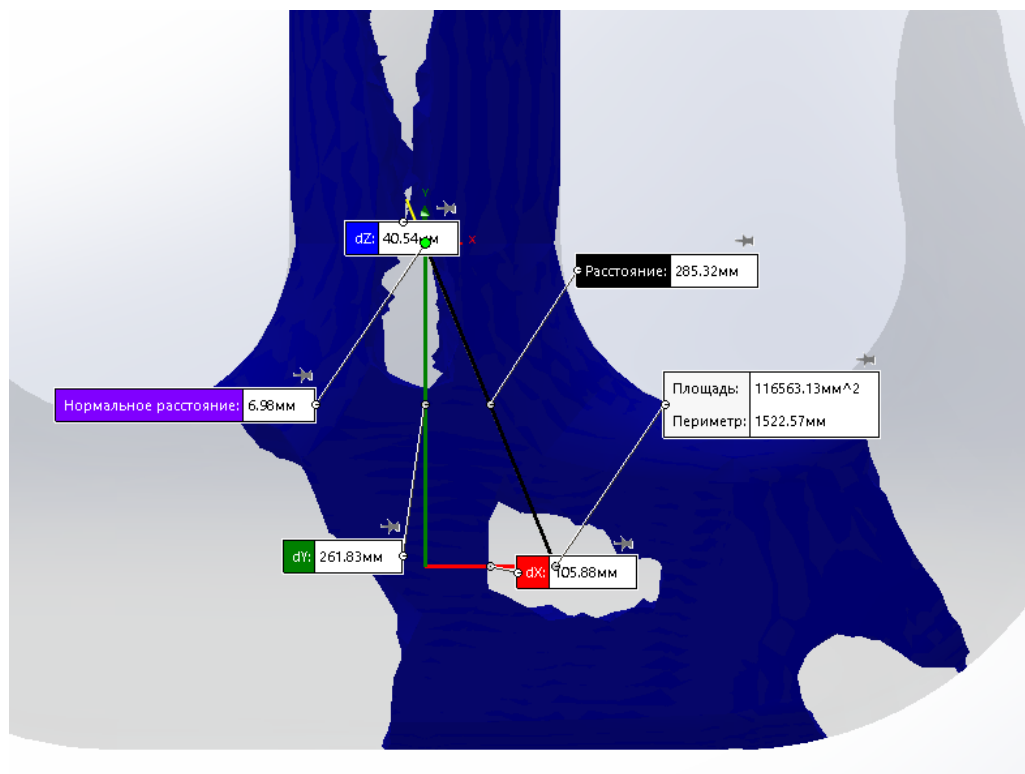


Рис. 3.8 Розміри найменш напруженої ділянки при навантаженні №2

Проміжний висновок: перспективними рішеннями модернізації гака ГОСТ 6628-73 є видалення частини твердотільної моделі за двома варіантами:

- Варіант «А» - «Овал» (рис. 3.9);
- Варіант «Б» - «парний отвір» (рис. 3.10).

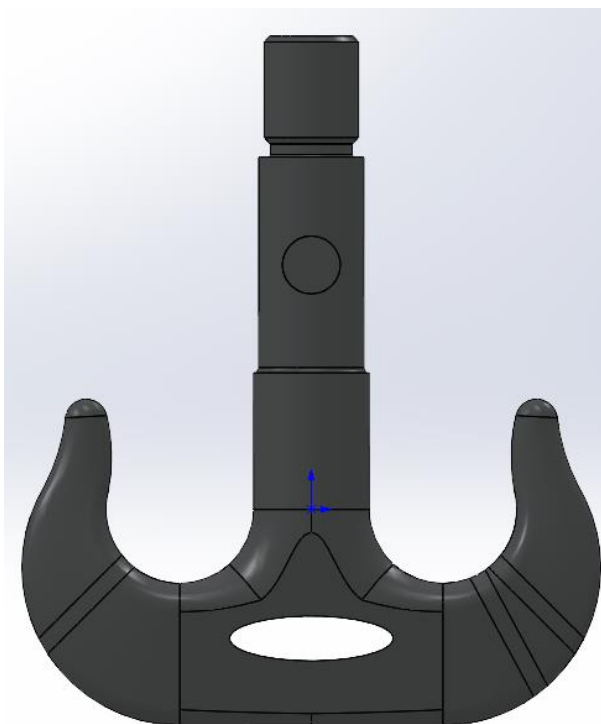


Рис. 3.9 Модель «Овал»

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

42

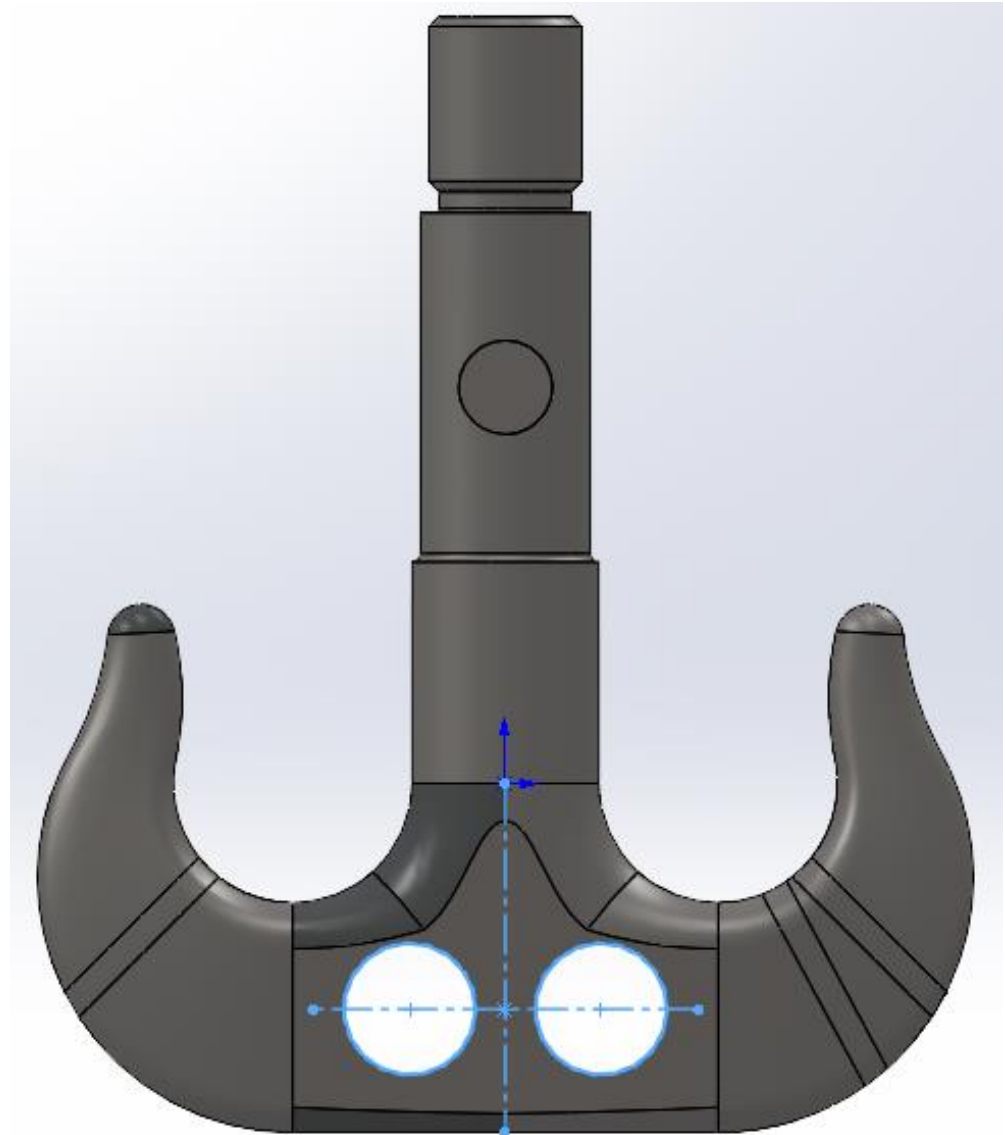


рис. 3.10 Модель «Парний отвір»

3.3 Дослідження варіантів моделей гака

3.3.1 Дослідження варіанта «Овал»

3.3.1.1 Дослідження проектування за навантаженням №1

Результат дослідження проектування моделі за навантаженням №1 представлений на рис. 3.11.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

43

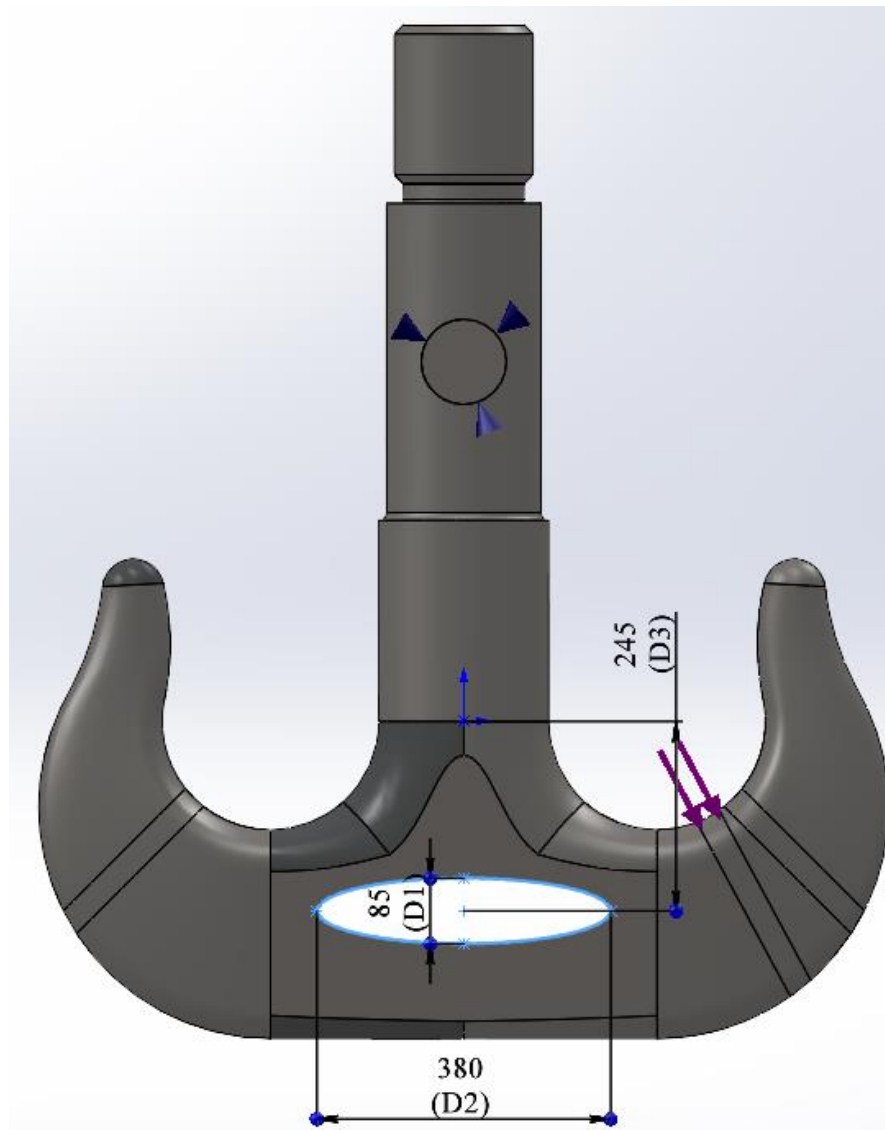


Рис. 3.11

3.3.1.2 Статичне дослідження

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №1 представлено на рис. 3.12.

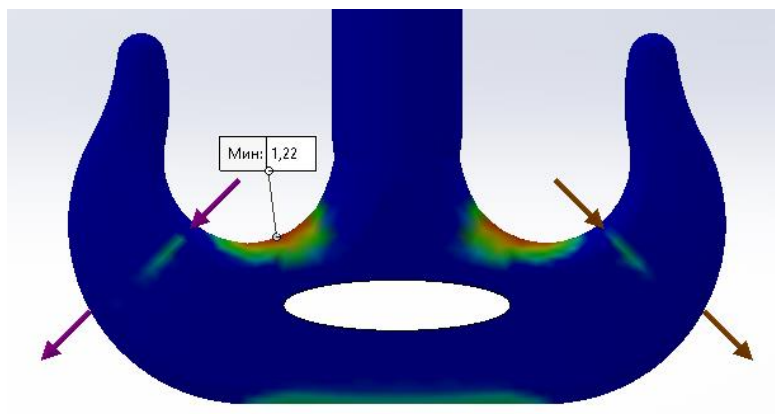


Рис. 3.12

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

44

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №2 представлено на рис. 3.13.

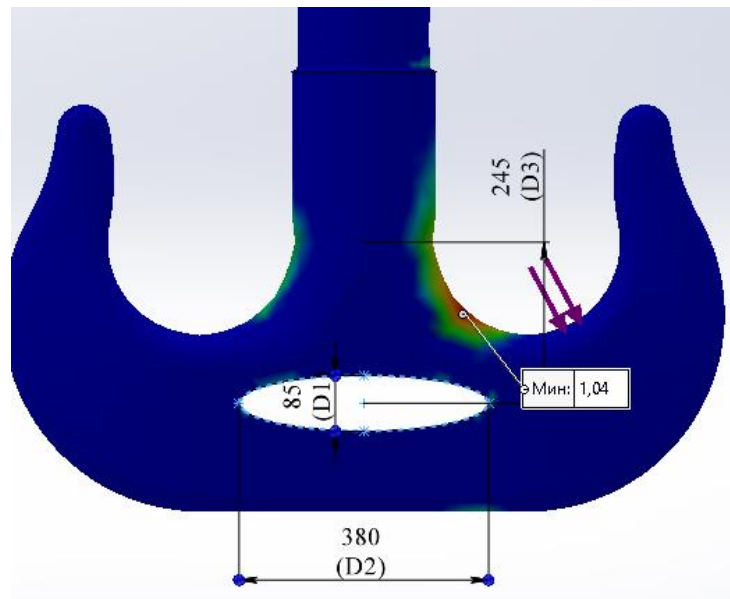


Рис. 3.13

Проміжний висновок: Слід провести «Дослідження проектування» за навантаженням №2

3.3.1.3 Дослідження проектування за навантаженням №2

Результат дослідження проектування моделі за навантаженням №2 представлений на рис. 3.14

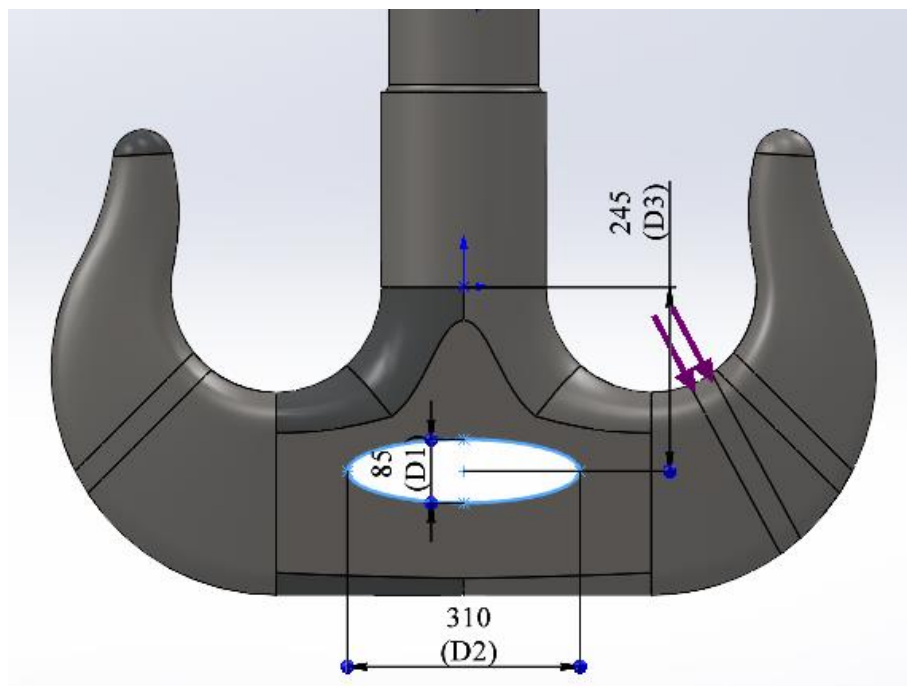


Рис. 3.14

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

45

3.3.1.4 Статичне дослідження

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №1 представлено на рис. 3.15.

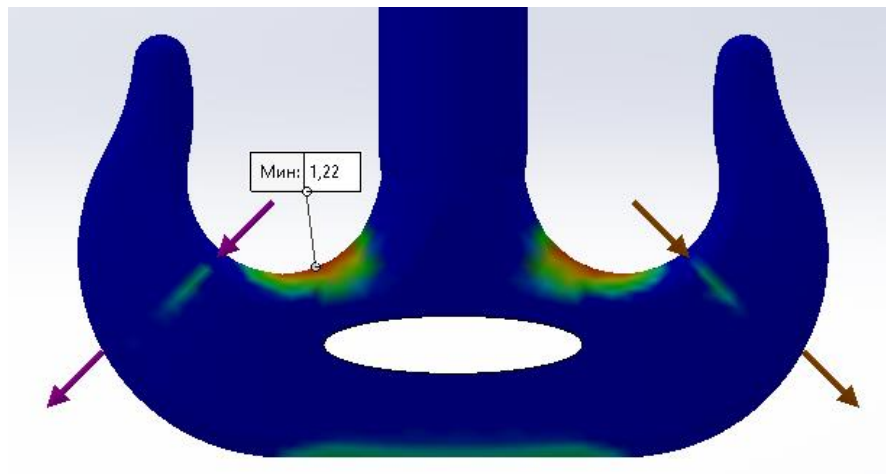


Рис. 3.15

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №2 представлено на рис. 3.16.

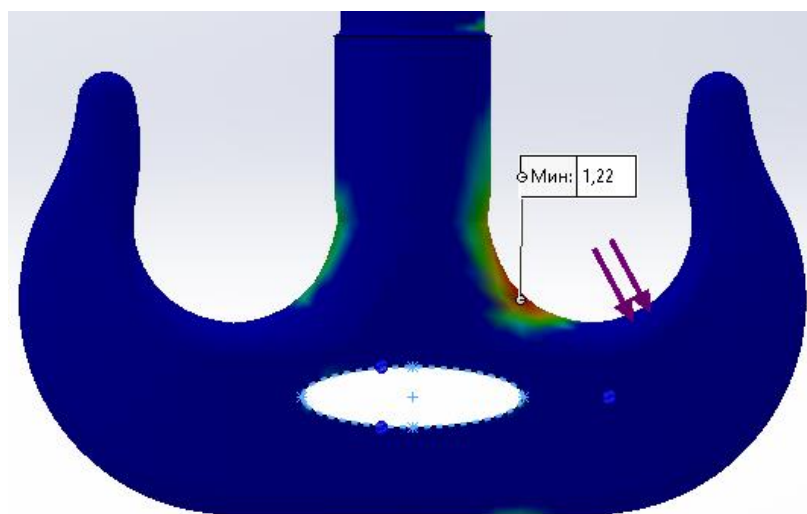


Рис. 3.16

Проміжний висновок: Модель «Овал» з параметрами отвору за рис. 3.14 має $K_3 = 1,22$ при усіх варіантах навантаження. Маса моделі гаку без врахування бобишок $M = 531\text{кг}$.

3.3.1.5 Дослідження впливу граничних відхилень розмірів отвіру на K_3

1. Граничні відхилення розмірів отвору від номінальних (рис. 3.14) в межах $\pm 2\text{мм}$ при варіанті навантаження №1 практично не впливає на значення $K_3 = 1,19 \dots 1,22$ (табл. 3.1)

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Табл. 3.1 Результати дослідження при варіанті навантаження №1

Имя компонента	Единицы	Текущее	Начальное	Оптимальная	Сценарий1	Сценарий2
Центр	mm	247	247	243	243	245
Высота	mm	87	87	87	83	83
Ширина	mm	310	310	310	308	308
Датчики1		1.207564	1.207564	1.208603	1.213050	1.207637
Датчики2	г	553.704268	553.704268	553.463720	554.699133	554.813107

Имя компонента	Единицы	Сценарий3	Сценарий4	Сценарий5	Сценарий6	Сценарий7
Центр	mm	247	243	245	247	243
Высота	mm	83	85	85	85	87
Ширина	mm	308	308	308	308	308
Датчики1		1.212410	1.204466	1.204748	1.218951	1.214760
Датчики2	г	554.927082	554.134204	554.250967	554.367729	553.610773

Имя компонента	Единицы	Сценарий8	Сценарий9	Сценарий10	Сценарий11	Сценарий12
Центр	mm	245	247	243	245	247
Высота	mm	87	87	83	83	83
Ширина	mm	308	308	310	310	310
Датчики1		1.199521	1.221887	1.189207	1.221729	1.205699
Датчики2	г	553.730243	553.849714	554.554798	554.669516	554.784233

Имя компонент а	Единиц ы	Сценарий1 3	Сценарий1 4	Сценарий1 5	Сценарий1 6	Сценарий1 7
Центр	mm	243	245	247	243	245
Высота	mm	85	85	85	87	87
Ширина	mm	310	310	310	310	310
Датчики1		1.205449	1.205367	1.185120	1.208603	1.222298
Датчики2	г	553.998759	554.116295	554.233831	553.463720	553.583994

Имя компонента	Единицы	Сценарий18
Центр	mm	247
Высота	mm	87
Ширина	mm	310
Датчики1		1.207564
Датчики2	г	553.704268

2. Граничні відхилення розмірів отвору від номінальних (рис. 3.14) в межах ± 2 мм при варіанті навантаження №2 впливає на значення $K_3 = 1,12 \dots 1,22$ (табл. 3.2).

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Табл. 3.2 Результаты дослідження при варіанті навантаження №2

Имя компонента	Единицы	Текущее	Начальное	Оптимальная	Сценарий1	Сценарий2
Центр	mm	247	247	247	243	245
Высота	mm	87	87	87	83	83
Ширина	mm	310	310	310	308	308
Датчики1		1.214665	1.214665	1.214665	1.164392	1.216454
Датчики2	г	553.704268	553.704268	553.704268	554.699133	554.813107

Имя компонента	Единицы	Сценарий3	Сценарий4	Сценарий5	Сценарий6	Сценарий7
Центр	mm	247	243	245	247	243
Высота	mm	83	85	85	85	87
Ширина	mm	308	308	308	308	308
Датчики1		1.220223	1.182344	1.164102	1.212640	1.128592
Датчики2	г	554.927082	554.134204	554.250967	554.367729	553.610773

Имя компонента	Единицы	Сценарий8	Сценарий9	Сценарий10	Сценарий11	Сценарий12
Центр	mm	245	247	243	245	247
Высота	mm	87	87	83	83	83
Ширина	mm	308	308	310	310	310
Датчики1		1.182983	1.124645	1.144435	1.180981	1.166827
Датчики2	г	553.730243	553.849714	554.554798	554.669516	554.784233

Имя компонент а	Единиц ы	Сценарий1 3	Сценарий1 4	Сценарий1 5	Сценарий1 6	Сценарий1 7
Центр	mm	243	245	247	243	245
Высота	mm	85	85	85	87	87
Ширина	mm	310	310	310	310	310

					ДКД 2212312 ПЗ		Арк.
							48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Имя компонента	Единицы	Сценарий13	Сценарий14	Сценарий15	Сценарий16	Сценарий17
Датчики1		1.177586	1.220642	1.131265	1.197239	1.196240
Датчики2	г	553.998759	554.116295	554.233831	553.463720	553.583994

Имя компонента	Единицы	Сценарий18
Центр	mm	247
Высота	mm	87
Ширина	mm	310
Датчики1		1.214665
Датчики2	г	553.704268

3.3.2 Дослідження варіанта «Парний отвір»

3.3.2.1 Дослідження проектування за навантаженням №1

Результат дослідження проектування моделі за навантаженням №1 представлений на рис. 3.17

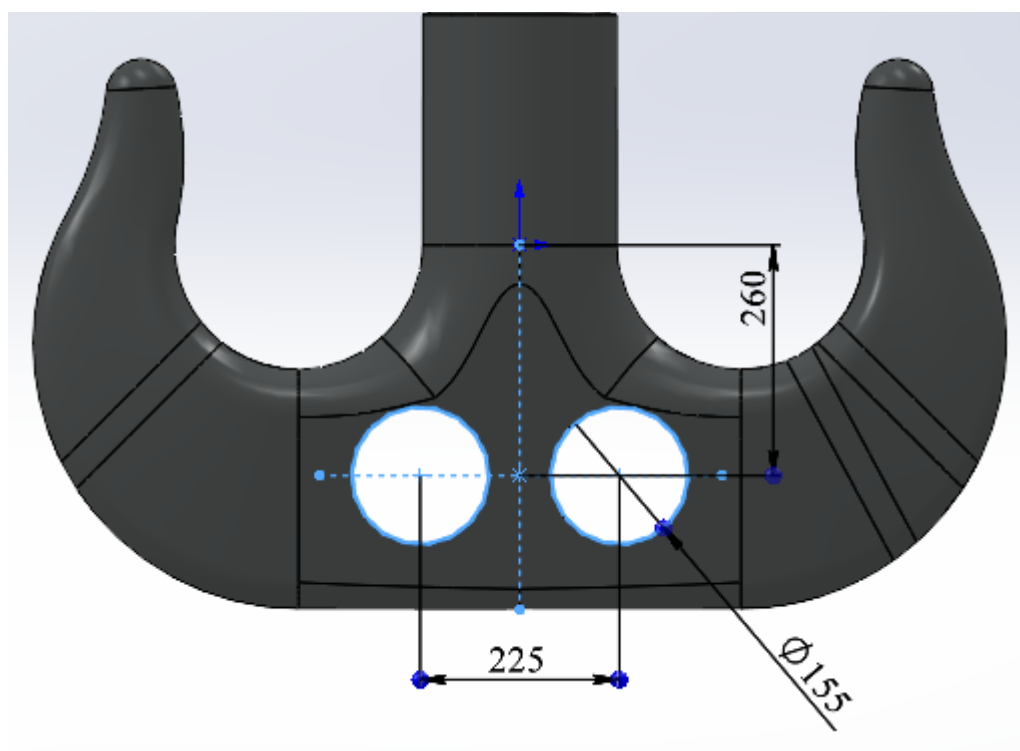


Рис. 3.17

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

3.3.2.2 Статичне дослідження

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №2 представлено на рис. 3.18.

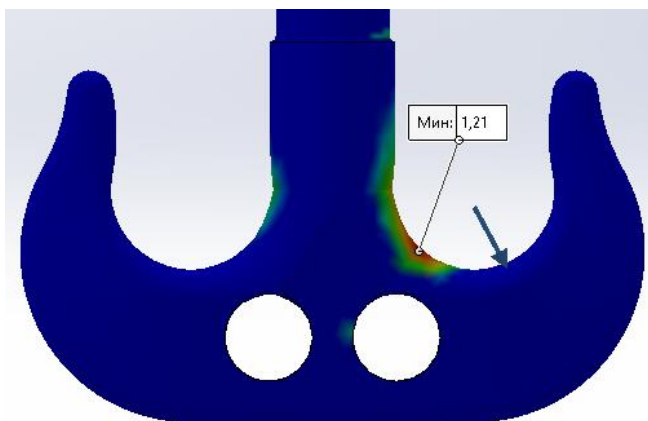


Рис. 3.18

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №1 представлено на рис. 3.19.

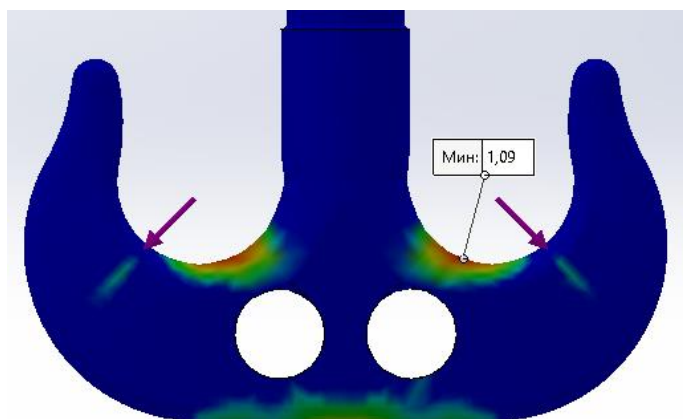


Рис. 3.19

Проміжний висновок: Слід провести «Дослідження проектування» за навантаженням №1

3.3.2.3 Дослідження проектування за навантаженням №1

Результат дослідження проектування моделі за навантаженням №1 представлений на рис. 3.20

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

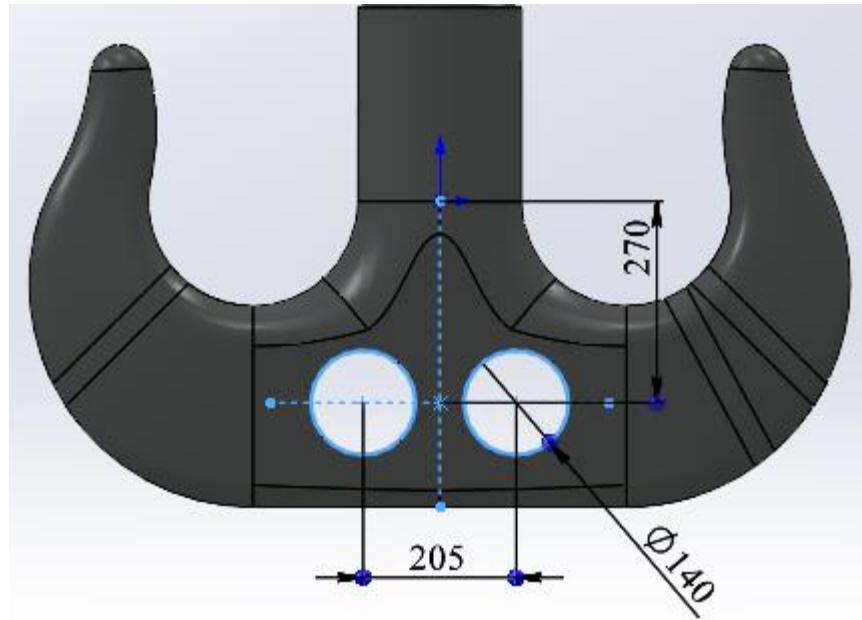


Рис. 3.20

Відносні розміри «Парний отвір»:

- діаметр отвору $0,5D$;
- Відстань між центрами $0,735D$;
- Відстань між осями центрів зів'язу і отворів $0,96D$.

3.3.2.4 Статичне дослідження

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №1 представлено на рис. 3.21.

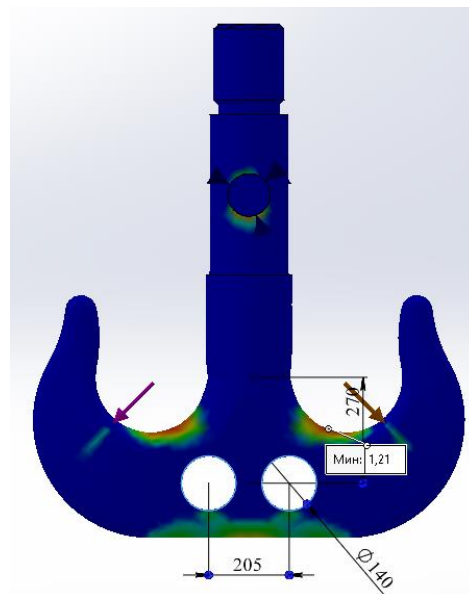


Рис. 3.21

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

51

Графік напруженого стану моделі за навантаженням №2 представлено на рис. 3.22.

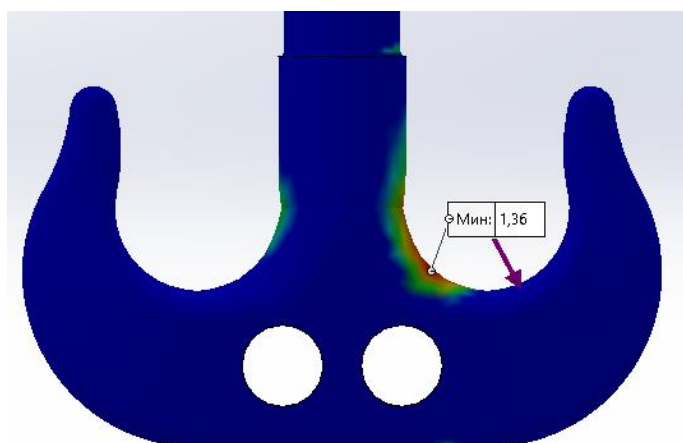


Рис. 3.22

Проміжний висновок: Модель «Парний отвір» з параметрами отвору за рис. 3.20 має $K_3 = 1,21$ при варіанті навантаження №1 і $K_3 = 1,36$ при варіанті навантаження №2. Маса моделі гаку без врахування бобишок $M = 513\text{кг}$.

3.3.2.5 Дослідження впливу граничних відхилень розмірів отвору на K_3

1. Граничні відхилення розмірів отвору від номінальних (рис. 3.14) в межах $\pm 2\text{мм}$ при варіанті навантаження №1 практично не впливає на значення $K_3 = 1,18 \dots 1,21$ (табл. 3.3)

Табл. 3.3 Результати дослідження при варіанті навантаження №1

Имя компонента	Единицы	Текущее	Начальное	Оптимальная	Сценарий1	Сценарий2
Диаметр	mm	142	142	140	138	140
Ширина	mm	207	207	205	203	203
Центр	mm	272	272	270	268	268
Минимальный запас прочности1		1.178204	1.178204	1.213852	1.201829	1.189023
Масса1	г	544.173465	544.173465	544.932531	545.688266	544.757761

Имя компонента	Единицы	Сценарий3	Сценарий4	Сценарий5	Сценарий6	Сценарий7
Диаметр	mm	138	140	138	140	138
Ширина	mm	205	205	207	207	203
Центр	mm	268	268	268	268	270
Минимальный запас прочности1		1.213039	1.158764	1.195015	1.190798	1.169814

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Имя компонента	Единицы	Сценарий3	Сценарий4	Сценарий5	Сценарий6	Сценарий7
Масса1	г	545.688266	544.757761	545.688266	544.757761	545.858078

Имя компонента	Единицы	Сценарий8	Сценарий9	Сценарий10	Сценарий11	Сценарий12
Диаметр	mm	140	138	140	138	140
Ширина	mm	203	205	205	207	207
Центр	mm	270	270	270	270	270
Минимальный запас прочности1		1.197797	1.211111	1.213852	1.181891	1.186796
Масса1	г	544.932531	545.858078	544.932531	545.858078	544.932531

Имя компонента	Единицы	Сценарий13	Сценарий14	Сценарий15	Сценарий16	Сценарий17
Диаметр	mm	138	140	138	140	138
Ширина	mm	203	203	205	205	207
Центр	mm	272	272	272	272	272
Минимальный запас прочности1		1.183130	1.215191	1.182107	1.212378	1.200217
Масса1	г	546.027890	545.107301	546.027890	545.107301	546.027890

Имя компонента	Единицы	Сценарий18
Диаметр	mm	140
Ширина	mm	207
Центр	mm	272
Минимальный запас прочности1		1.200219
Масса1	г	545.107301

4. Граничні відхилення розмірів отвору від номінальних (рис. 3.14) в межах $\pm 2\text{мм}$ при варіанті навантаження №2 незначно впливає на значення $K_z = 1,29 \dots 1,33$ (табл. 3.4).

Табл. 3.4 Результати дослідження при варіанті навантаження №2

Имя компонента	Единицы	Текущее	Начальное	Оптимальная	Сценарий1	Сценарий2
Диаметр	mm	140	140	140	138	140
Ширина	mm	207	207	207	203	203
Центр	mm	272	272	268	268	268
Минимальный запас прочности1		1.296992	1.296992	1.298149	1.311702	1.310280
Масса1	г	545.107301	545.107301	544.757761	545.688266	544.757761

Имя компонента	Единицы	Сценарий3	Сценарий4	Сценарий5	Сценарий6	Сценарий7
Диаметр	mm	138	140	138	140	138
Ширина	mm	205	205	207	207	203
Центр	mm	268	268	268	268	270
Минимальный запас прочности1		1.337991	1.320790	1.308030	1.298149	1.304119
Масса1	г	545.688266	544.757761	545.688266	544.757761	545.858078

Имя компонента	Единицы	Сценарий8	Сценарий9	Сценарий10	Сценарий11	Сценарий12
Диаметр	mm	140	138	140	138	140
Ширина	mm	203	205	205	207	207
Центр	mm	270	270	270	270	270
Минимальный запас прочности1		1.300709	1.323419	1.360458	1.345178	1.335930
Масса1	г	544.932531	545.858078	544.932531	545.858078	544.932531

Имя компонента	Единицы	Сценарий13	Сценарий14	Сценарий15	Сценарий16	Сценарий17
Диаметр	mm	138	140	138	140	138
Ширина	mm	203	203	205	205	207
Центр	mm	272	272	272	272	272
Минимальный запас прочности1		1.310567	1.299715	1.306226	1.329779	1.303707
Масса1	г	546.027890	545.107301	546.027890	545.107301	546.027890

Имя компонента	Единицы	Сценарий18
Диаметр	mm	140
Ширина	mm	207
Центр	mm	272
Минимальный запас прочности1		1.302295
Масса1	г	545.107301

Проміжний висновок: Модель «Парний отвір» має переваги перед моделлю «Овал» за матеріалоемністю та відгуку на варіації розмірів отвору з боку K_3 .

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4 Висновки з розділу

1. Конструкція дворогих гаків ГОСТ 6628-73 може бути оптимізована за критерієм матеріалоемності без зменшення міцності і жорсткості.
2. Запропоновані два варіанти зміненої конструкції з видаленням частини матеріалу гака ГОСТ 6628-73.
3. Варіант моделі «Парний отвір» має на 6% меншу масу порівняно з прототипом без зменшення міцності і жорсткості .
4. Допуски на розміри отвору відповідають класу точності заготовки ГОСТ 6628-73.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Дворогі гаки ГОСТ 6628-73 при штатних навантаженнях мають значну масову частину мало навантажених ділянок.
2. Виходячи з технологічних умов виготовлення показники ефективності використання матеріалу дворогого гака ГОСТ 6628-73 можуть бути поліпшені за рахунок видалення частини матеріалу.
3. Показники ефективності використання матеріалу дворогого гака ГОСТ 6628-73 можуть бути поліпшені при збереженні ергономічно обумовлених розмірів частин поверхонь гака.
4. Запропоновані зміни теоретично дозволяють зменшити масу на 6% дворогих вантажних гаків ГОСТ 6628-73 при збереженні вантажопідйомності.
5. Розроблений алгоритм побудови параметризованої твердотільної моделі дворогого гака ГОСТ 6628-73 з проведенням інженерного аналізу засобами ПК SOLIDWORKS.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

CONCLUSIONS RESULTS OF RESEARCH

1. GOST 6628-73 double-horned hooks under standard loads have a significant mass fraction of lightly loaded areas.

2. Based on the technological conditions of production, the efficiency indicators of the use of the GOST 6628-73 double-horned hook material can be improved by removing part of the material.

3. Indicators of the effectiveness of using the GOST 6628-73 double-horned hook material can be improved while maintaining the ergonomically determined dimensions of the parts of the hook surfaces.

4. The proposed changes theoretically make it possible to reduce the weight of GOST 6628-73 double-horn cargo hooks by 6% while maintaining the carrying capacity.

5. The developed algorithm for building a parametrized solid-state model of a GOST 6628-73 double-horned hook with engineering analysis using SOLIDWORKS PC tools.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 2105-75 Гаки ковані та штамповані. Технічні умови.
2. ГОСТ 6627-74 Гаки однорогі. Заготівки. Типи. Конструкції та розміри.
3. ГОСТ 6628-73 Гаки дворогі. Заготівки. Типи. Конструкції та розміри. DIN 15400/06.90 Lasthaken für Hebezeuge; Mechanische Eigenschaften, Werkstoffe, Tragfähigkeiten und vorhandene Spannungen (DIN 15400/06.90 Вантажні гаки для підйомних пристроїв. Механічні властивості, матеріали, вантажопідйомності та дійсні напруження).
4. DIN 15401/11.82 Teil 1 Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Rohteile (DIN 15401/11.82 Частина 1 Вантажні гаки для підйомних пристроїв. Однорогі гаки. Заготівки).
5. DIN 15401/09.83 Teil 2 Lasthaken für Hebezeuge; Einfachhaken; Fertigteile mit Gewindenschaft (DIN 15401/09.83 Частина 2 Вантажні гаки для підйомних пристроїв. Однорогі гаки. Оброблені деталі з різьбовим хвостовиком).
6. DIN 15402/11.88 Teil 1 Lasthaken für Hebezeuge; Doppelhaken; Rohteile (DIN 15402/11.88 Частина 1 Вантажні гаки для підйомних пристроїв. Дворогі гаки. Заготівки).
7. Александров М. П., Колобов Л. Н., Лобов Н. А. та ін.. Вантажопідйомні машини. - М.: Машинобудування, 1986. 399 с.
8. Брауді, В.І. Системні методи розрахунку вантажопідіймальних машин/В.І. Брауді, М.С. Тср-Мхітаров. – Л.: Машинобудування, 1985. – 181 с.
9. Будрін, С. В. Розрахунки стрілових самохідних кранів / С.В. Будрін. - Владивосток: [б. в.], 1995. – 111 с.
10. Бузуєв І.І. Забезпечення безпечної експлуатації механізмів підйому вантажопідіймальних машин: навчань, посібник / І.І. Бузуєв. - Самара: Самар, держ. техн. ун-т, 2012. – 88 с.: іл.
11. Галлагер, Р. Метод кінцевих елементів. Основи / Р. Галлагер. - М: Мир, 1975.- 428 с.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- 12.Гребінець, Г.І. Основи розрахунку та оптимізації конструкцій з використанням методу кінцевих елементів / Г.І. Гребенюк, Б.М. Попов, Є.В. Яньків. - Новосибірськ: [б. в.], 1992. – 96 с.
- 13.Григоров О.В. Про можливість застосування в Україні кованих (штампованих) гаків, що виготовляються за європейськими стандартами / Григоров О.В., Сердюков Е.І., Степочкін Л.М.// Вісник ХНАДУ: зб. наук. тр. - 2007. - Вип. 38. - С. 1-7.
- 14.Вантажопідйомні машини: Підручник для вузів за спеціальністю «Підйомно-транспортні машини та обладнання» / М. П. Александров, Л. Н. Колобов, Н. А. Лобов та ін: - М.: Машинобудування, 1986 - 400 с., іл.
15. Гузачов В. Г., Ковальський Б. С., Сороковенко Ф, ф. До розрахунку гаків та вушок. //Праці ВНДІПТМАШ. Вип. 6 (86), 1968. С.84-95.
- 16.Дискретна оптимізація в MSC.Nastran: методичні вказівки/С.А. Сергіївський. - М: MacNeal-Schwendler Corporation, 1998. - 24 с.
17. Зенкевич, О. Метод кінцевих елементів у техніці / О. Зенкевич. - М: Мир, 1975. - 540 с.
- 18.18.
- 19.Зенкевич, О. Кінцеві елементи та апроксимація / О. Зенкевич, К. Морган. - М: Мир, 1986. - 318 с.
20. Зуєв Ф.Г., Лютков Н.А. Підйомно-транспортні установки: навчань, посібник. – К.: Колос С. 2007. – 471 с. - 1 \$ ВІ 987-5-9532-0548-1.
21. Івашков Н. І., Мікушевич Ф. Е., Толстоп'ятенко О.Е. Деякі важливі вимоги до кранів у сучасних вітчизняних та зарубіжних нормативно-технічних документах. // Системи приводів. Надійність та довговічність НТО. - М:1987. с.77-90.
- 22.Ковальський Б.С., Гузачов В. Г. Підвищення вантажопідйомності кранових гаків // Вісник машинобудування. 1970. № Ю. с.19-21.
23. Копанєв, Д.Б. Вирішення задач динаміки засобами MSC.Nastran. - М: MacNeal-Schwendler Corporation, 1998. - 179 с.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

24. Лагерев, І.А. Розрахунки вантажопідіймальних машин шляхом кінцевих елементів: монографія / І.А. Таборів. – Брянськ: Видавництво БДТУ, 2013. – 116 с.: іл. - 1БВИ 978-5-89838-650-4.
25. Норенков, І.П. Інформаційна підтримка наукомістких виробів. CALS-технології/І.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: МДТУ ім. н.е. Баумана, 2002. – 320 с.
26. Огороднікова, О.М. Розрахунок конструкцій у ANSYS/О.М. Огороднікова. – М.: Техноцентр комп'ютерного інженірингу, 2009. – 452 с.
27. Оптимізація в MSC.Patran: методичні вказівки. - М: MacNeal-Schwendler Corporation, 1998. -55 с.
28. Піскунов, В.А. Розрахунок кранових конструкцій шляхом кінцевих елементів / В.А. Піскунов, І.М.Бузун, А.С. Городецький та ін - М.: Машинобудування, 1991. -240 с.
29. Правила влаштування та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. - М.: Металургія, 1981. 169 с.
30. Розрахунки кранових механізмів та їх деталей /ВНИИПТМАШ. - М.: Машинобудування, 1971. 495 с.
- 31.Розрахунки кранових механізмів та їх деталей /ВНИИПТМАШ: у 2-х томах. т 2. - Вид. 4-те, перероблене та доповнене (ротапринтне) М.: 1993. 163 с., іл.
- 32.Соколов С.А. Металеві конструкції підйомно-транспортних машин / С.А. Соколов. – СПб.: Політехніка, 2005. – 423 с.
33. Довідник з кранів, т.2 / Под ред. М. М. Гохберга. Л.: Машинобудування. 1988. 560 с.
34. Степигін В.І.. Чортов Є.Д.. Єлфімов С.А. Проектування підйомно-транспортних установок: навчань, посібник. - М: Машинобудування. 2005. – 288 с. -БВИ 5-217-03274-Х.
35. П.Шимкович, Д.Г. Розрахунок конструкцій у MSC/NASTRAN for Windows/Д.Г. Шимковіч. – М.: ДМК Прес, 2003. – 448 с. [Електронний ресурс]/Режим доступу:
<https://www.youtube.com/watch?v=1ZNtICCafOk>, вільний - Загол. з екрану.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

36. [Електронний ресурс]/Режим доступу: Режим доступу: <http://sapr-journal.ru/uroki-kompas-3d/poverxnostnoe-modelirovanie-gruzovogo-kryuka-v-kompas-3d/>.
37. [Електронний ресурс]/Режим доступу: https://vk.com/video1092941_163269375, вільний - Загол. з екрану.
38. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://lektsii.com/1-226.html>, вільний- Загол. з екрану.
39. [Електронний ресурс]/Режим доступу: <https://autocad-lessons.ru>, вільний - Загол. з екрану.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Гак №14А. Симуляція. Навантаження №1

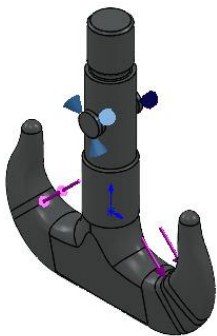


Создатель:: Solidworks
Имя исследования: Статический 2
Тип анализа: Статический

Содержание

Информация о модели	63
Свойства исследования	64
Единицы	64
Свойства материала	65
Нагрузки и крепления	65
Информация о сетке	66
Данные датчиков	66
Результаты исследования	67

Информация о модели



Имя модели: Отв.
Активная конфигурация: 14 тип А

Твердые тела			
Имя и ссылки документа	Рассматривается как	Объемные свойства	
Разделяющая линия6 	Твердое тело	Масса:577,564 kg Объем:0,0740458 м^3 Плотность:7 800,09 kg/м^3 Масса:5 660,13 N	

Свойства исследования

Имя исследования	Статический 2
Тип анализа	Статический
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Тепловой эффект:	Вкл
Термический параметр	Включить тепловые нагрузки
Температура при нулевом напряжении	25 Celsius
Включить эффекты давления жидкости из SOLIDWORKS Flow Simulation	Выкл
Тип решающей программы	Авто
Влияние нагрузок на собственные частоты:	Выкл
Мягкая пружина:	Выкл
Инерционная разгрузка:	Выкл
Несовместимые параметры связи	Авто
Большие перемещения	Выкл
Вычислить силы свободных тел	Выкл
Трение	Выкл
Использовать адаптивный метод:	Выкл

Единицы

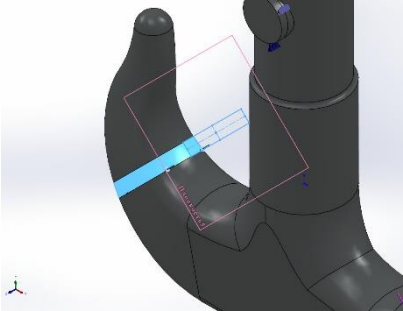
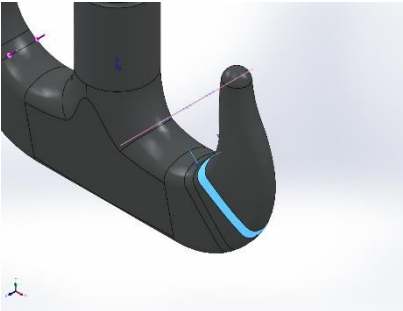
Система единиц измерения:	СИ (MKS)
Длина/Перемещение	mm
Температура	Kelvin
Угловая скорость	Рад/сек
Давление/Напряжение	N/m^2

Свойства материала

Ссылка на модель	Свойства	Компоненты
	Имя: Простая углеродистая сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Неизвестно Предел текучести: $2,20594 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $3,99826 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,28 Массовая плотность: $7\,800 \text{ kg/m}^3$ Модуль сдвига: $7,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1,3 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1 (Разделяющая линия6

Данные кривой: N/A

Нагрузки и крепления

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-2		Объекты: 1 грани, 1 плоскость(4) Справочный: Плоскость5 Тип: Приложить силу Значения: ---; ---; -71 000 kgf
Сила-3		Объекты: 1 грани, 1 плоскость(4) Справочный: Плоскость6 Тип: Приложить силу Значения: ---; ---; 71 000 kgf

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

65

Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Сетка на основе смешанной кривизны
Точки Якобиана для сетки высокого качества	16 Точки
Максимальный размер элемента	83,9889 mm
Минимальный размер элемента	16,7978 mm
Качество сетки	Высокая

Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	19606
Всего элементов	12252
Максимальное соотношение сторон	36,157
% элементов с соотношением сторон < 3	98
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0,18
Процент искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	00:00:08
Имя компьютера:	

Данные датчиков

Имя датчика	Местоположение	Данные датчиков
Минимальный запас прочности1		Значение: 1,217e+00 Объекты : Результат :Запас прочности Компонент :Авто Критерий :Мин модели Критерий шага: Во всех шагах Шаг №:1 Сигнальное значение: NA
Масса1		Значение: 545,107 Объекты : Результат :Напряжение Компонент :VON: Напряжение Von Mises Критерий :Макс модели Критерий шага: Во всех шагах Шаг №:1 Сигнальное значение: NA

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Результаты исследования

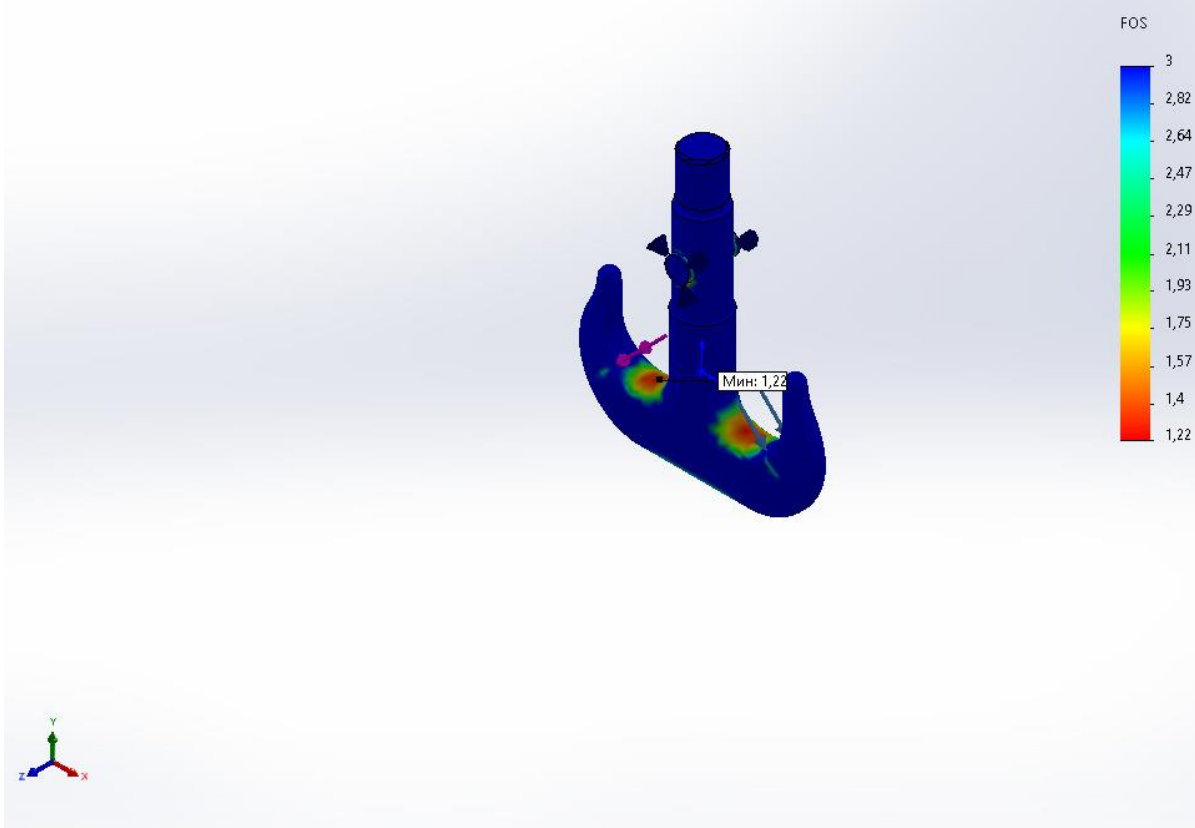
Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение1	VON: Напряжение Von Mises	0kgf/cm^2 Узел: 9669	3 040kgf/cm^2 Узел: 19566
Отв.-Статический 2-Напряжение-Напряжение1			

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	2 797,104mm Узел: 1535	1 173 720,750mm Узел: 12468
Отв.-Статический 2-Перемещение-Перемещение1			

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	9,798e-11 Элемент: 9717	1,039e-03 Элемент: 10562
Отв.-Статический 2-Деформация-Деформация1			

Имя	Тип	Мин	Макс
Запас прочности1	Авто	1,22 Узел: 1480	3 Узел: 1

Имя модели: Отв.
 Название исследования: Статический 2(-14 тип А-)
 Тип элюры: Запас прочности Запас прочности1
 Критерий : Авто
 Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 1,2



Отв.-Статический 2-Запас прочности-Запас прочности1

Имя	Тип
Design Insight1	Design Insight

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

68

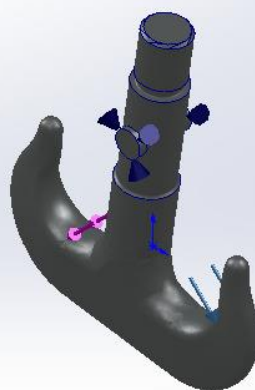
Имя модели: Отв.
 Название исследования: Статический 2(-14 тип А-)
 Тип эюры: Design Insight Design Insight1
 Объем (Элемент/Геометрия) = 58,95 %/ 76,05 %



Отв.-Статический 2-Design Insight-Design Insight1

Имя	Тип
Перемещение1{1}	Деформированная форма

Имя модели: Отв.
 Название исследования: Статический 2(-14 тип А-)
 Тип эпюры: Деформированная форма Перемещение1[1]
 Шкала деформации: 0,000118244



Отв.-Статический 2-Перемещение-Перемещение1{1}

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Гак №14А. Симуляція. Навантаження №2

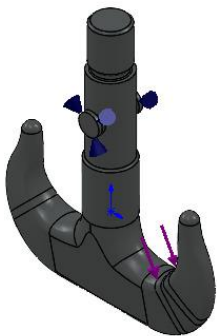


Создатель:: Solidworks
Имя исследования: Статический 2
Тип анализа: Статический

Содержание

Информация о модели	72
Свойства исследования	73
Единицы	73
Свойства материала	74
Нагрузки и крепления	74
Информация о сетке	75
Данные датчиков	75
Результаты исследования	76

Информация о модели



Имя модели: Отв.
Активная конфигурация: 14 тип А

Твердые тела			
Имя и ссылки документа	Рассматривается как	Объемные свойства	
Разделяющая линия6 	Твердое тело	Масса:577,564 kg Объем:0,0740458 м^3 Плотность:7 800,09 kg/м^3 Масса:5 660,13 N	

Свойства исследования

Имя исследования	Статический 2
Тип анализа	Статический
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Тепловой эффект:	Вкл
Термический параметр	Включить тепловые нагрузки
Температура при нулевом напряжении	25 Celsius
Включить эффекты давления жидкости из SOLIDWORKS Flow Simulation	Выкл
Тип решающей программы	Авто
Влияние нагрузок на собственные частоты:	Выкл
Мягкая пружина:	Выкл
Инерционная разгрузка:	Выкл
Несовместимые параметры связи	Авто
Большие перемещения	Выкл
Вычислить силы свободных тел	Выкл
Трение	Выкл
Использовать адаптивный метод:	Выкл

Единицы

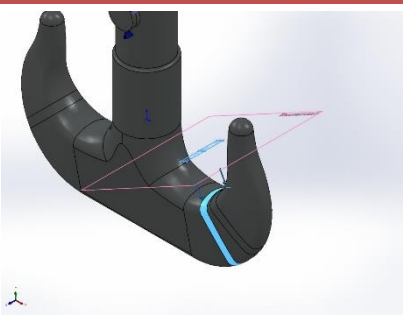
Система единиц измерения:	СИ (MKS)
Длина/Перемещение	mm
Температура	Kelvin
Угловая скорость	Рад/сек
Давление/Напряжение	N/m^2

Свойства материала

Ссылка на модель	Свойства	Компоненты
	Имя: Простая углеродистая сталь Тип модели: Линейный Упругий Изотропный Критерий прочности по умолчанию: Неизвестно Предел текучести: $2,20594 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Предел прочности при растяжении: $3,99826 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Модуль упругости: $2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ Коэффициент Пуассона: 0,28 Массовая плотность: $7\,800 \text{ kg/m}^3$ Модуль сдвига: $7,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Коэффициент теплового расширения: $1,3 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Твердое тело 1 (Разделяющая линия)

Данные кривой: N/A

Нагрузки и крепления

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Сила-1		Объекты: 1 грани, 1 плоскость Справочный: Плоскость7 Тип: Приложить силу Значения: ---; ---; 50 000 kgf

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Информация о сетке

Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение:	Сетка на основе смешанной кривизны
Точки Якобиана для сетки высокого качества	16 Точки
Максимальный размер элемента	83,9889 mm
Минимальный размер элемента	16,7978 mm
Качество сетки	Высокая

Информация о сетке - Детализация

Всего узлов	19606
Всего элементов	12252
Максимальное соотношение сторон	36,157
% элементов с соотношением сторон < 3	98
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0,18
Процент искаженных элементов	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss):	00:00:08
Имя компьютера:	

Данные датчиков

Имя датчика	Местоположение	Данные датчиков
Минимальный запас прочности1		Значение: 1,495e+00 Объекты : Результат :Запас прочности Компонент :Авто Критерий :Мин модели Критерий шага: Во всех шагах Шаг №:1 Сигнальное значение: NA
Масса1		Значение: 545,107 Объекты : Результат :Напряжение Компонент :VON: Напряжение Von Mises Критерий :Макс модели Критерий шага: Во всех шагах Шаг №:1 Сигнальное значение: NA

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Результаты исследования

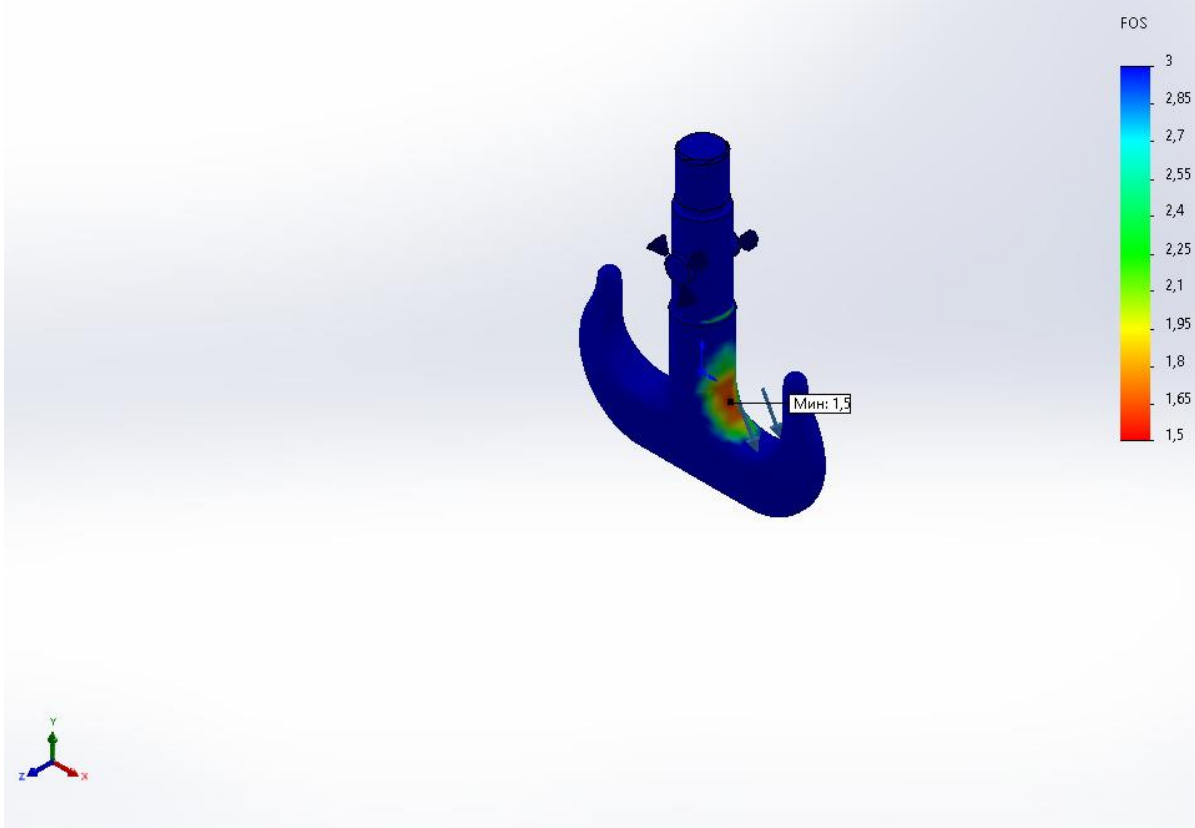
Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение1	VON: Напряжение Von Mises	0kgf/cm^2 Узел: 3438	1 514kgf/cm^2 Узел: 17219
Отв.-Статический 2-Напряжение-Напряжение1			

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	360 666,281mm Узел: 1535	151 342 864,000mm Узел: 12468
Отв.-Статический 2-Перемещение-Перемещение1			

Имя	Тип	Мин	Макс
Деформация1	ESTRN: Эквивалентная деформация	7,602e-10 Элемент: 4131	5,343e-04 Элемент: 5862
Отв.-Статический 2-Деформация-Деформация1			

Имя	Тип	Мин	Макс
Запас прочности1	Авто	1,5 Узел: 1392	3 Узел: 1

Имя модели: Отв.
 Название исследования: Статический 2(-14 тип А-)
 Тип элюры: Запас прочности Запас прочности1
 Критерий : Авто
 Распределение запаса прочности: Мин. коэффициент запаса прочности = 1,5



Отв.-Статический 2-Запас прочности-Запас прочности1

Имя	Тип
Design Insight1	Design Insight

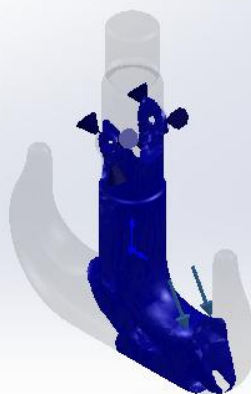
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

77

Имя модели: Отв.
 Название исследования: Статический 2(-14 тип А-)
 Тип эюры: Design Insight Design Insight1
 Объем (Элемент/Геометрия) = 35,17 %/ 49,88 %

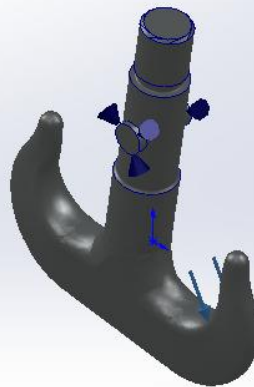


Отв.-Статический 2-Design Insight-Design Insight1

Имя	Тип
Перемещение1{1}	Деформированная форма

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Имя модели: Отв.
 Название исследования: Статический 2(-14 тип А-)
 Тип эпюры: Деформированная форма Перемещение1[1]
 Шкала деформации: 9,17025e-07



Отв.-Статический 2-Перемещение-Перемещение1{1}

ДОДАТОК 3

Розділ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека експлуатації вантажопідійомних машин в значній мірі залежить від їх конструктивної особливості. Всі частини, деталі та допоміжні пристрої підйомних механізмів щодо їх виготовлення, матеріалів, якості зварювання, міцності, влаштування, установки, експлуатації повинні задовольняти технічним умовам, стандартам, нормам і правилам [9, 12, 22].

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Одним з головних механізмів вантажопідйомних машин є механізм підйому, який включає гакову підвіску.

4.1 Розрахунок деталей гакової підвіски

Розрахувати нормальну конструкцію підвіски гака №9 ГОСТ 6627-76 з верхнім розташуванням блоку.

Параметри гака приймаємо з таблиці ГОСТ 6627-76: $S = 36$ мм; $b = 30$ мм; $h = 45$ мм; $d_1 = 30$ мм; М27; $L = 145$ мм; $l = 70$ мм; $l_1 = 40$ мм.

Ескіз гака представлений на рис. 4.1

Визначаємо діаметри блоків:

$$d_b > h_2 \cdot d_k = 25 \times 9,9 = 247,5 \text{ мм},$$

де d_k - діаметр канату;

h_2 - коефіцієнт вибору діаметра блока (табл. 4.1).

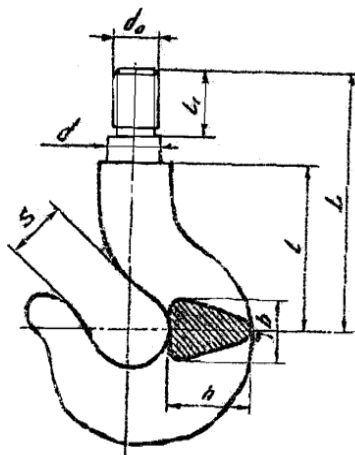


Рис. 4.1 Ескіз гака

Таблиця 4.1 Коефіцієнти вибору діаметрів барабана h_1 , блока h_2 , вирівнюючого блока h_3

Група по класифікації механізму		Класифікація вибору діаметрів		
Режими	по ГОСТ 25835	h_1	h_2	h_3
Ручний	1М	11,2	12,5	11,2
	1М	12,5	14,0	12,5
привод	1М	14,0	16,0	12,5
Легкий	2М	16,0	18,0	14,0
	3М	18,0	20,0	14,0

Середній	4М	20,0	22,4	16,0
Тяжкий	5М	22,4	25,0	16,0
Д.тяжкий	6М	25,0	28,0	18,0

По таблиці 4.2 приймаємо по нормальному ряду розмірів діаметр блоку (барабана), виміряний по дну струмка (канавки):

$$d_{bl} = 250 \text{ мм}; l_{ct} = 50 \text{ мм}.$$

Таблиця 4.2 Довжина маточини блока, мм

Діаметр блока	150	200	250	300	350	400	450	500	600
Довжина маточини	40	50	50	50	60	70	100	120	150

Розрахункова довжина осі блоку визначається за формулою:

$$L_{oc} = \delta + 2\delta_1 + Z_{Бл} \cdot l_{ct} + \Delta = 8 + 2 \times 4 + 50 + 4 = 70 \text{ мм},$$

де δ і δ_1 - товщина серги і щоки (табл. 4.3);

$Z_{Бл}$ - кількість рухливих блоків на осі гакової підвіски;

Δ - зазор між торцями маточин блоків (1 ... 5мм).

Ось блоків розраховується на згин:

$$M_{из} = \frac{F_{гр} \cdot L_{oc}}{4} = \frac{16000 \times 70}{4} = 280000 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Ось виготовляється зі сталі 45. Розрахункова схема представлена на рис. 4.2.

Таблиця 4.1 Орієнтовне значення товщини сержки і щоки в залежності від вантажопідйомності, кН

	до 63	80 ... 100	125	160	200...250	320...400	500...800	800... 1000
δ	8	10	12	14	16	20	24	30
δ_1	4	5	5	6	6	6	8	10

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

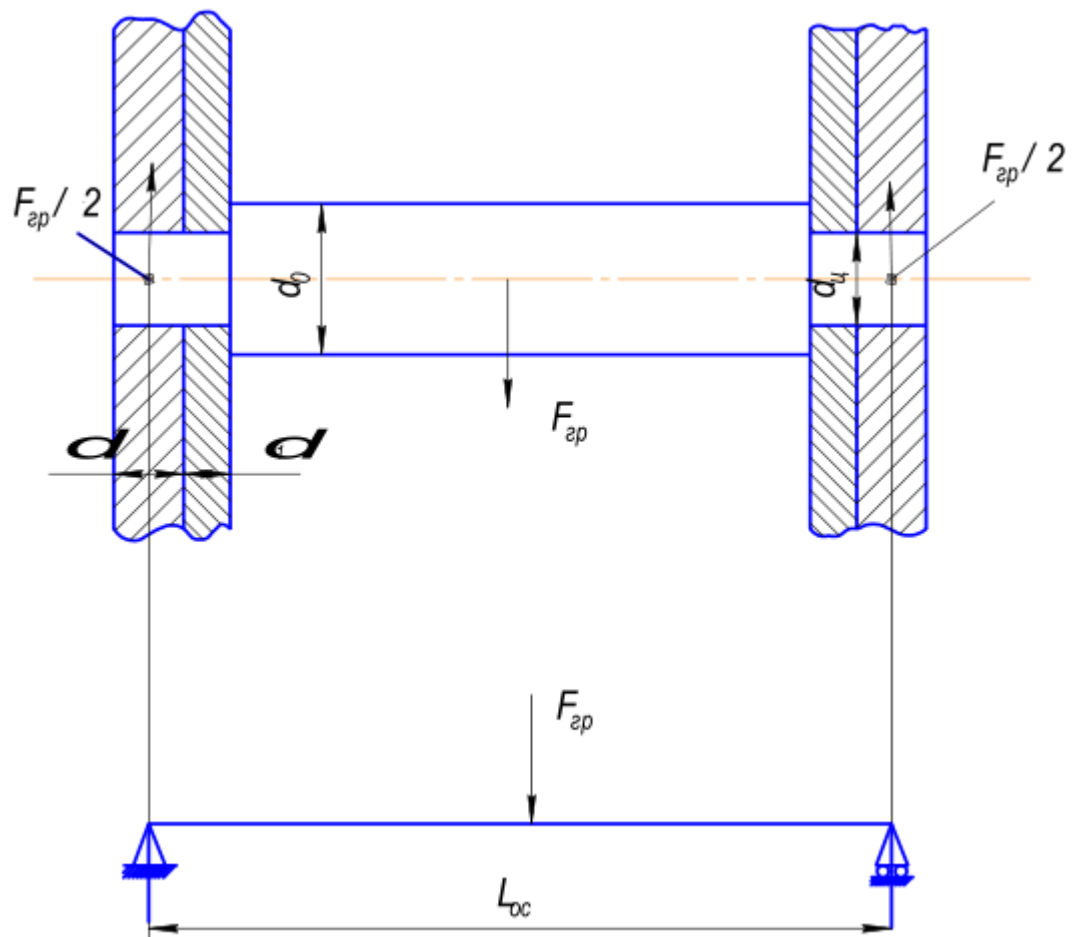


Рис. 4.2 Ескіз і розрахункова схема осі блоків

Розрахунковий діаметр осі блоків:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{M_{из}}{0,1[\sigma]_{из}}} = \sqrt[3]{\frac{280000}{0,1 \times 144}} = 26,9 \text{ мм},$$

$$[\sigma]_{из} = [\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{n_6} = \frac{360}{2,5} = 144 \text{ МПа}.$$

Приймаємо

$$d_0 = 30 \text{ мм}.$$

Траверса виготовляється зі сталі 45 і розраховується на вигин від ваги вантажу і вантажозахватних пристроїв (рис 4.3).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДКД 2212312 ПЗ

Арк.

82

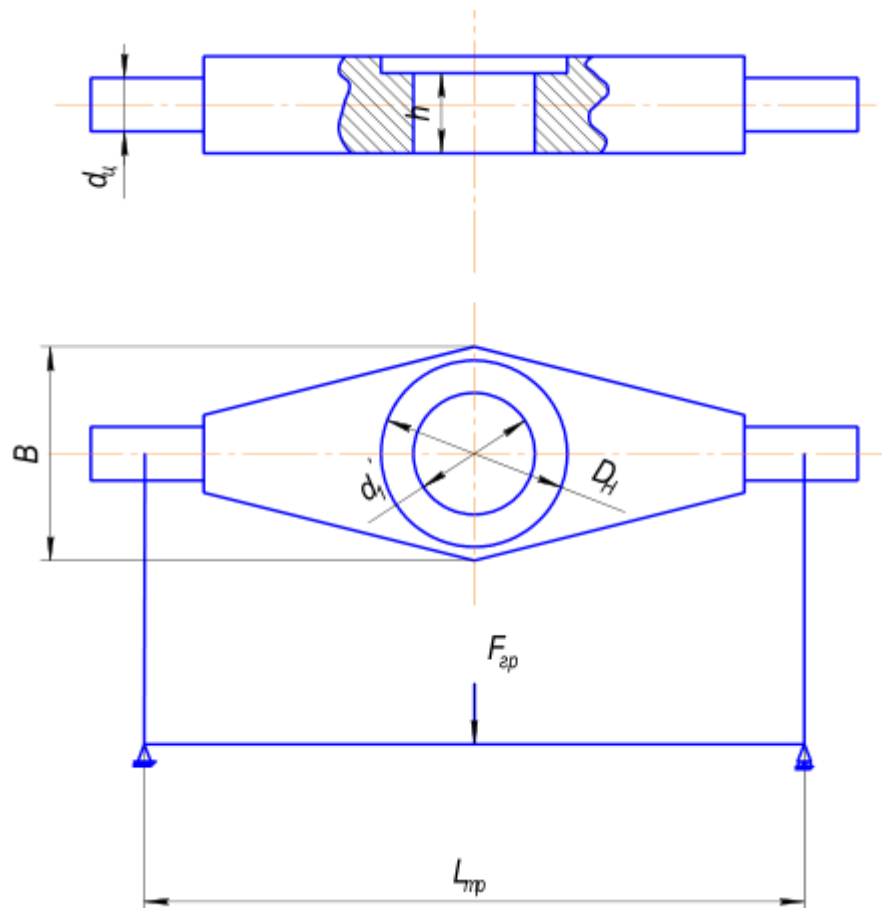


Рис. 4.3 Ескіз і розрахункова схема траверси

Для розрахунку конструкції траверси приймаємо (рис. 4.1):

$$L_{тр} = L_{ос} = 70 \text{ мм}; \quad d_1' = d_1 + (2...5) = 30 + 5 = 35 \text{ мм};$$

$$h = L - l_1 - l_2 = 145 - 70 - 40 = 35 \text{ мм},$$

Ширину траверси визначаємо за формулою:

$$B = \frac{3 \cdot F_{гр} \cdot L_{ос}}{2 \cdot h^2 [\sigma]_{из}} + d_1' = \frac{3 \cdot 16000 \cdot 70}{2 \cdot 35^2 \cdot 144} + 35 = 44,5 \text{ мм}.$$

Для установки гака в поперечині (траверсі), по внутрішньому діаметру d_1 і вантажопідйомності $F_{гр}$, вибираємо підшипник упорний

№ 8106 с внутрішнім діаметром $dв = 30$ мм, зовнішнім - $D_н = 47$ мм.

Повинна виконуватися умова: $B \geq 1,2 D_н$:

$$B \geq 1,2 \times 47 = 56,4. \text{ Приймаємо } B = 60 \text{ мм}.$$

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

Діаметр цапф траверси визначаємо розрахунком їх на міцність по вигину і зминання контактної поверхні між цапфою і отвором в сережці:

$$d_{ц} = \sqrt[3]{\frac{F_{гр}(\delta + 2\delta_1)}{0,4[\sigma]_{см}}} = \sqrt[3]{\frac{16000(8 + 2 \times 4)}{0,4 \times 144}} = 16,44 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d_{ц} = 20 \text{ мм.}$

$$\sigma_{см} = \frac{F_{гр}}{2d_{ц}\delta} = \frac{16000}{2 \times 20 \times 8} = 50 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{см},$$

$$[\sigma]_{см} = 1,5 \cdot [\sigma]_p = 1,5 \times 144 = 216 \text{ МПа.}$$

Серга (рис. 4.4) виготовляється зі сталі ст.4 і розраховується на розтяг і зріз.

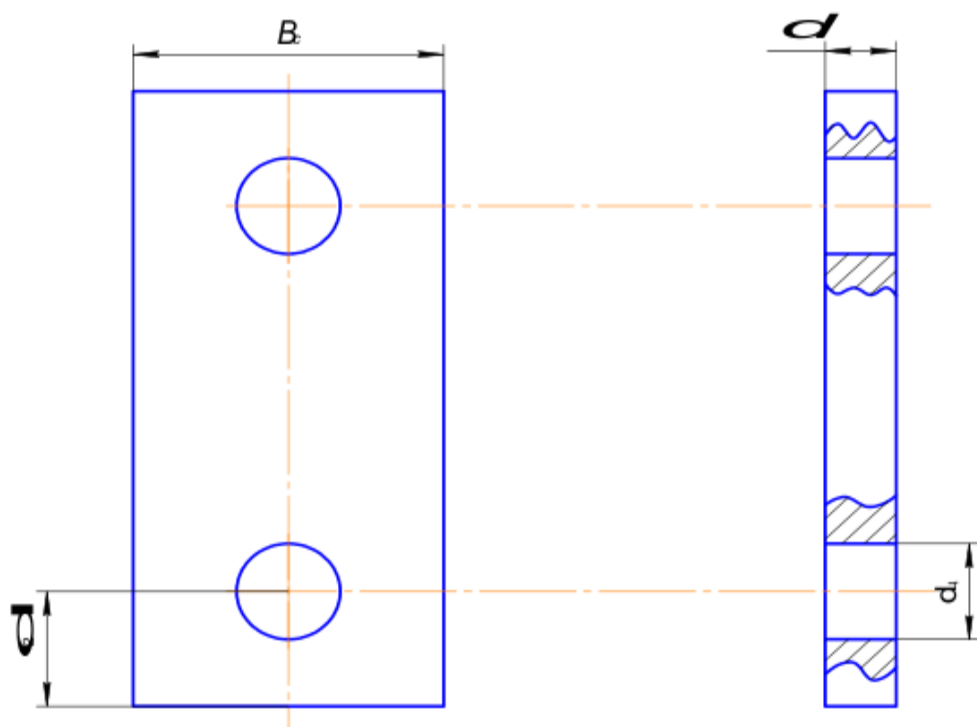


Рис. 4.4 Ескіз серги

Ширину серги приймаємо рівною:

$$B_c = (1,8 \dots 2,0) d_c = 1,8 \times 20 = 36 \text{ мм.}$$

Умова міцності серги на розтяг:

$$\sigma_p = \frac{F_{гр}}{2 \cdot (B_c - d_{ц}) \cdot \delta} = \frac{16000}{2 \times (36 - 20) \times 8} = 62,5 \text{ МПа} \leq [\sigma]_p,$$

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_m}{n_\sigma} = \frac{260}{2,5} = 104 \text{ МПа.}$$

Умова міцності небезпечного перерізу серги на зріз:

$$\delta_2 = \frac{F_{zp}}{2 \cdot 2 \cdot \delta \cdot [\tau]} = \frac{16000}{4 \times 8 \times 78} = 6,4 \text{ мм},$$

$$[\tau] = 0,75[\sigma]_p = 0,75 \times 104 = 78 \text{ МПа}.$$

Конструктивно приймаємо $\delta_2 = 18 \text{ мм}$.

					ДКД 2212312 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		