

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

ФАКУЛЬТЕТ _____ Металургійний _____
(назва)

КАФЕДРА _____ Металургійного обладнання _____
(назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

«Дослідження і удосконалення механізмів завантаження напольної
мульдозавалювальної машини»

Спеціальність 8.05050311 Металургійне обладнання
(найменування)

Виконавець _____ Златов Є.В. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ зав.каф., проф. Малишев Г.П. _____
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Розглянуто на засідання кафедри

_____ Металургійного обладнання _____
(найменування кафедри)

Рекомендовано до захисту в ДЕК

Протокол № 8 від 10 грудня 2015 р.

Завідувач кафедри

_____ Малишев Г.П. _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

Запоріжжя
2016 р.

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з графічної частини, виконаної на 12 аркушах формату А1 та розрахунково-пояснювальної записки, яка містить 157 сторінок тексту комп'ютерного набору, 44 рисунки, 56 таблиць, 5 додатків. Бібліографічний список містить 18 найменувань.

В технологічній частині записки описані технологічний процес та механічне обладнання цеху, висвітлені "вузькі" місця та дані рекомендації щодо їх усунення.

В прикладній частині двома методиками проведено перевірочний розрахунок необхідної потужності та числа обертів механізму обертання. Вибрано електродвигун постійного струму Д-808. Проведені розрахунки на міцність найбільш навантаженої деталі - хобота.

В дослідницькій частині об'єктом дослідження є виконавчий орган механізму обертання хобота завалювальної машини напідлогового типу.

Метод дослідження об'єкту – аналіз конструкцій хобота, та матеріалів для його виготовлення.

Порівнянні конструкції хобота. Розроблений метод поєднання частин хобота. За допомогою ЕОМ візуалізован експеримент та проведено статичний розрахунок конструкції.

В електрочастині наведені перевірочні розрахунки електродвигуна та описана електрична схема його управління.

В організаційній частині описані організаційні заходи, що забезпечують ефективну роботу механослужби дільниці.

В економічній частині наведені розрахунки економічної ефективності від запровадження модернізації на виробництві.

В частині "Охорона праці та техногенна безпека" описані основні заходи щодо безпечних умов праці оператора мульдозавалювальної машини.

Результати роботи можуть бути рекомендовані для впровадження у мартенівському цеху ВАТ «Запоріжсталь» на мульдозавалювальній машині, а також на інших аналогічних машинах металургійної промисловості.

ЗАВАЛЮВАЛЬНА МАШИНА, МЕХАНІЗМ ОБЕРТАННЯ ХОБОТА, ЕЛЕКТРОДВИГУН, РЕДУКТОР, ХОБОТ.

ВСТУП

Головний напрямок у розвитку чорної металургії полягає в підвищенні технічного рівня, концентрації та ефективності виробництва шляхом подальшого зростання продуктивності праці, поліпшення якості та розширення сортаменту продукції, що випускається, здійснення технічного переозброєння, модернізації діючих і введення в експлуатацію нових металургійних агрегатів та устаткування, збільшення їх одиничної потужності.

Це положення повною мірою відноситься і до ВАТ МК «Запоріжсталь», де усіляко намагаються збільшити кількість виробництва продукції і той же час покращити її якість. Під час цих модернізацій підприємство не забуває про безпеку навколишнього середовища, про що свідчать останні модернізаційні роботи на підприємстві.

ВАТ МК «Запоріжсталь» останнім часом почав втілювати в життя свої плани щодо підвищення енергоефективності та раціонального використання ресурсів. Цей напрям допоможе скоротити витрати на закупівлю енергоносіїв і здешевить виробляємо продукцію.

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Працездатність завалювальних машин напідлогового типу в цілому і їх основні показники в значній мірі залежать від того, наскільки ефективно працює виконавчий орган хобот.

Аналіз показав, що на даній час застосовують різноманітні конструкції хобота: збірний, та цільнолітий. Практика їх експлуатації показала, що найбільш ефективним є використання збірної конструкції хобота. Проте така конструкція ще далека від конструктивної досконалості. На практиці в мартенівському цеху ВАТ МК "Запоріжсталь" на завалювальній машині напідлогового типу використовують цільний хобот.

В зв'язку з цим виникає необхідність розробки такої конструкції хобота, яка б в повній мірі відповідала сучасним як технологічним, так і експлуатаційним вимогам.

З врахуванням вище наведеного аналізу з метою удосконалення механізму обертання хобота, а саме виконавчого органу – хобота, в роботі поставлено такі задачі:

- 1) Дослідження впливу матеріалу хобота на властивості міцності конструкції на основі яких можна вибрати найбільш раціональний матеріал хобота.
- 2) Дослідження впливу матеріалу та конструкції хобота на властивості міцності конструкції на основі яких можна вибрати найбільш раціональний матеріал та конструкцію хобота.
- 3) Розробка моделей конструкції хобота та проведення експериментальних досліджень за допомогою системи міцностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D

3.1 Дослідження суцільнолитної конструкції хобота

3.1.1 Дослідження матеріалу хобота

За допомогою системи міцностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D провели експрес-розрахунок твердотільної моделі хобота. Розрахунок проводився по чотирьом варіантам матеріалу моделі. Сталь 35ХМЛ є матеріалом з якого виготовляють хобот, у розрахунку також була перевірена можливість використання сталей 30ХМЛ, 35ХНЛ, 40ХНЛ.

Таблиця 3.1 - Порівняння матеріалів.

	35ХНЛ	40ХНЛ	30ХМЛ	35ХМЛ
Класифікація	Сталь для виливків легована			
Застосування матеріалів	Шестерні, хрестовини, втулки, зубчасті колеса екскаваторів, зубчасті вінці, горизонтальні валки слябінгів.	Для виготовлення відливок різного промислового призначення.		Шестерні, хрестовини, втулки, зубчасті вінці та інші відповідальні деталі, до яких пред'являються вимоги високої міцності і в'язкості, що працюють під дією підвищених статичних та динамічних навантажень і вимагають підвищеної твердості.
Хімічний склад	C (0.3-0.38); Si (0.2-0.42); Mn (0.4-0.9); S (до 0.04); P (до 0.04); Cr (0.5-0.8); Ni (0.7-0.9); Cu (до 0.3).	C (0.35-0.45); Si (0.2-0.5); Mn (0.4-0.9); S (до 0.04); P (до 0.04); Cr (0.5-0.8); Ni (1-1.5); Ti (до 0.15).	C (0.25-0.35); Si (0.2-0.5); Mn (0.5-0.8); S (до 0.04); P (до 0.04); Cr (0.8-1.2); Mo (0.2-0.3); Ni (до 0.3); Cu (до 0.3).	C (0.3-0.4); Si (0.2-0.4); Mn (0.4-0.9); S (до 0.04); P (до 0.04); Cr (0.8-1.1); Mo (0.2-0.3).

3.1.2 Вплив основних легуючих елементів на властивості сталі

Легованою називається сталь, у якій, крім звичайних домішок, містяться спеціально вводимі в певних поєднаннях легуючі елементи (Cr, Ni, Mo, W, V, Al, B, Ti та ін.), а також Mn і Si в кількостях, що перевищують їх звичайний зміст як технологічних домішок (1% і вище). Як правило, найкращі властивості забезпечує комплексне легування.

Легування сталей і сплавів використовують для поліпшення їх технологічних властивостей. Легуванням можна підвищити межу текучості, ударну в'язкість, відносне звуження і прокалюваємість, а також суттєво знизити швидкість загартування, поріг хладноломкості, деформованість виробів і можливість утворення тріщин. У виробках великих перетинів (діаметром понад 15 ... 20 мм) механічні властивості легованих сталей значно вище, ніж механічні властивості вуглецевих сталей.

Таблиця 3.2 - Вплив легуючих елементів на характеристики сталі.

	Si	Mn*	Mn**	Cr	Ni*	Ni**	Al	W	V	Co	Mo	S	P
Жорсткість	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)		(+)	(+)	(+)	(+)		(+)
Опір	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)		(+)	(+)	(+)	(+)		(+)
Точка плинності	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)		(+)	(+)	(+)	(+)		(+)
Подовження	(0)	(0)	(-)	(-)	(0)	(+)		(-)	(0)	(-)	(-)	(-)	(-)
Усадка перетину	(-)	(0)	(0)	(-)	(0)	(+)		(-)	(0)	(-)	(-)	(-)	(-)
Опір удару	(+)	(0)		(-)	(0)	(+)	(-)		(+)	(-)	(+)	(-)	(-)
Еластичність	(+)	(+)		(+)			(-)		(+)				
Термостійкість	(-)	(0)		(+)	(+)	(+)		(+)	(+)	(+)	(+)		
Швидкість охолодження	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)		(-)	(-)	(+)	(-)		
Освіта карбиду	(-)	(0)		(+)				(+)	(+)		(+)		
Опір стирання	(-)	(-)		(+)	(-)			(+)	(+)	(+)	(+)		
Ударна в'язкість	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)
Можливість обробки	(-)	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)		(0)	(-)	(+)	(-)
Схильність до окислення	(-)	(0)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)		(-)
Стійкість до корозії				(-)		(+)			(+)			(-)	(+)

(+): Збільшується; (-): зменшується; (0): не змінюється.

Вуглець (C):

Основний легуючий елемент сталі - вуглець, займає місце в мікроструктурі в процесі виробництва сталі. Кількість вуглецю найбільше впливає на механічні характеристики сталі. Вуглець збільшує плинність і межу міцності сталі на розрив, поверхнєве подовження.

Кремній (Si):

Кремній міститься в мікроструктурі сталі для видалення кисню. Підвищує плинність, опір на розрив і еластичність сталі. При зниженні кількості кремнію в структурі сталі підвищується рівень утворення окалини.

Марганець (Mn):

Марганець, як і вуглець, є елементом, вже наявним в мікроструктурі сталі під час виробництва та надає ефект підвищення міцності сталі. Разом з цим підвищує здатність до збільшення твердості і зварюваності, є основним елементом для процесу аусформінга. Найбільш важливим значенням є здатність марганцю утворювати сполуки з сіркою MnS і попереджати утворення сполуки заліза з сіркою FeS . З'єднання FeS є причиною красноломкості.

Сірка (S):

Практично не впливає на плинність і граничну міцність на розрив. Разом з цим великий вплив робить на поверхнєве подовження і в'язкість сталі. Сірка в значній мірі знижує ударну в'язкість і пластичність матеріалу. Крім того, негативно впливає на зварюваність сталі. Сірка в з'єднанні із залізом утворює формацію FeS . Ця формація має низьку температуру плавлення і, зважаючи на початок плавлення при температурі прокату сталі, стає причиною красноломкості сталі. Це негативний вплив сірки нейтралізується шляхом з'єднання марганцю з сіркою.

Фосфор (P):

Фосфор підвищує плинність і граничну міцність сталі на розрив, ще більше погіршує властивості поверхнєвого подовження і згинання, є

причиною виникнення холодоломкості, підвищує здатність до верстатної обробці.

Хром (Cr):

Хром є основним легуючим елементом нержавіючої сталі. Хром забезпечує стійкість сталі до корозійних процесів і окислення. Підвищує здатність до прокалювання. У високовуглецевої сталі підвищує зносостійкість.

Нікель (Ni):

Нікель збільшує ударну в'язкість і міцність загартованої сталі. Нікель є другим, після хрому, найважливішим легуючим елементом аустенітної нержавіючої сталі.

Молибден (Mo):

Попереджає зростання зерен і підвищує здатність до прокалювання. Усуває крихкість процесу загартування. При повільному охолодженні після температури відпуску в деяких сплавах проявляється осад карбідів на межах зерен, а це в свою чергу є причиною крихкості. Молибден усуває ці негативні наслідки. Крім того, молибден збільшує повзучість, міцність і корозійну стійкість сталі. Є важливим легуючим елементом в легованій інструментальній сталі. В нержавіючій сталі в значній мірі підвищує стійкість до корозійних процесів, особливо точкової корозії. У деяких видах мікролегованій сталі молибден використовується як легуючий елемент, що утворює нітрид або карбонітрид.

Титан (Ti):

Надає ефект зменшення розміру зерен сталі, подібно ванадію. Разом з цим, цей ефект титану значно вище ефекту ванадію. Використовується як мікролеговуючий елемент в мікролегованій сталі. Крім того використовується як легуючий елемент у виробництві нержавіючої сталі в якості карбідоутворюючих елементів з метою ліквідації негативних наслідків утворення карбіду хрому.

Мідь (Cu):

Підвищує плинність і міцність на розтяг, зменшує поверхневе подовження і здатність до оброблюваності. Негативно позначається на здатності до витягування в холодному стані. З цієї причини бажаним є наскільки можливо малий вміст міді для катанки. Надає ефект підвищення стійкості до корозії.

3.2. Розрахунок хобота

3.2.1 Інформація про навантаження і закріплення

На шийку хобота прикладена розподілена сила: $G = 100000H$ - вага завантаженої мульты. У пазах, для клинів які з'єднують хобот з мундштуком, встановлено закріплення, яке обмежує рух відносно всіх осей (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Модель хобота з доданими навантаженням і закріпленням.

3.2.2 Кінцево-елементна сітка

Наступним кроком виконуємо розбиття моделі на кінцево-елементну сітку (рис. 3.2) з наступними параметрами:

- максимальна довжина сторони елемента – 30мм;
- максимальний коефіцієнт згущення на поверхні – 1;
- коефіцієнт розрізання в об'ємі – 1.5.

Отримані результати розбиття:

- кількість кінцевих елементів – 97576 одиниць;
- кількість вузлів – 23962 одиниць.

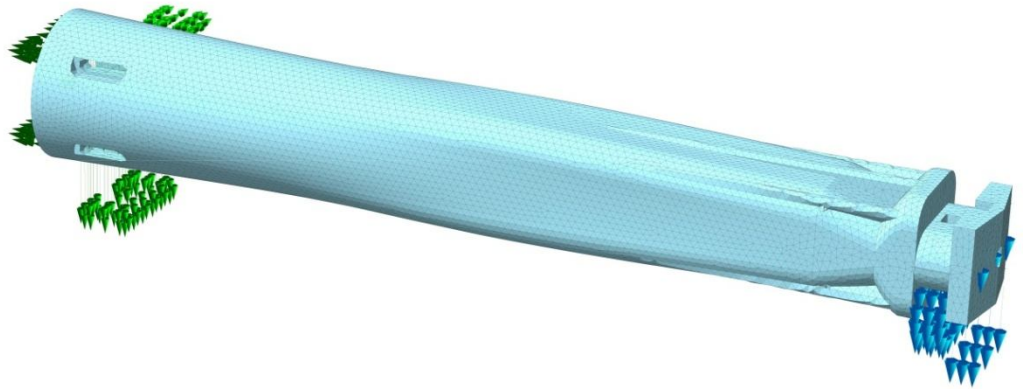


Рисунок 3.2 – Модель хобота розбита на кінцево-елементну сітку.

Після розбиття моделі на кінцево-елементну сітку проводимо статичний розрахунок.

3.2.3 Результати статичного розрахунку

Таблиця 3.3 - Вага моделі хобота.

	35ХНЛ	40ХНЛ	30ХМЛ	35ХМЛ
Вага [кг]	2895,623	2906,735	2903,862	2900,163

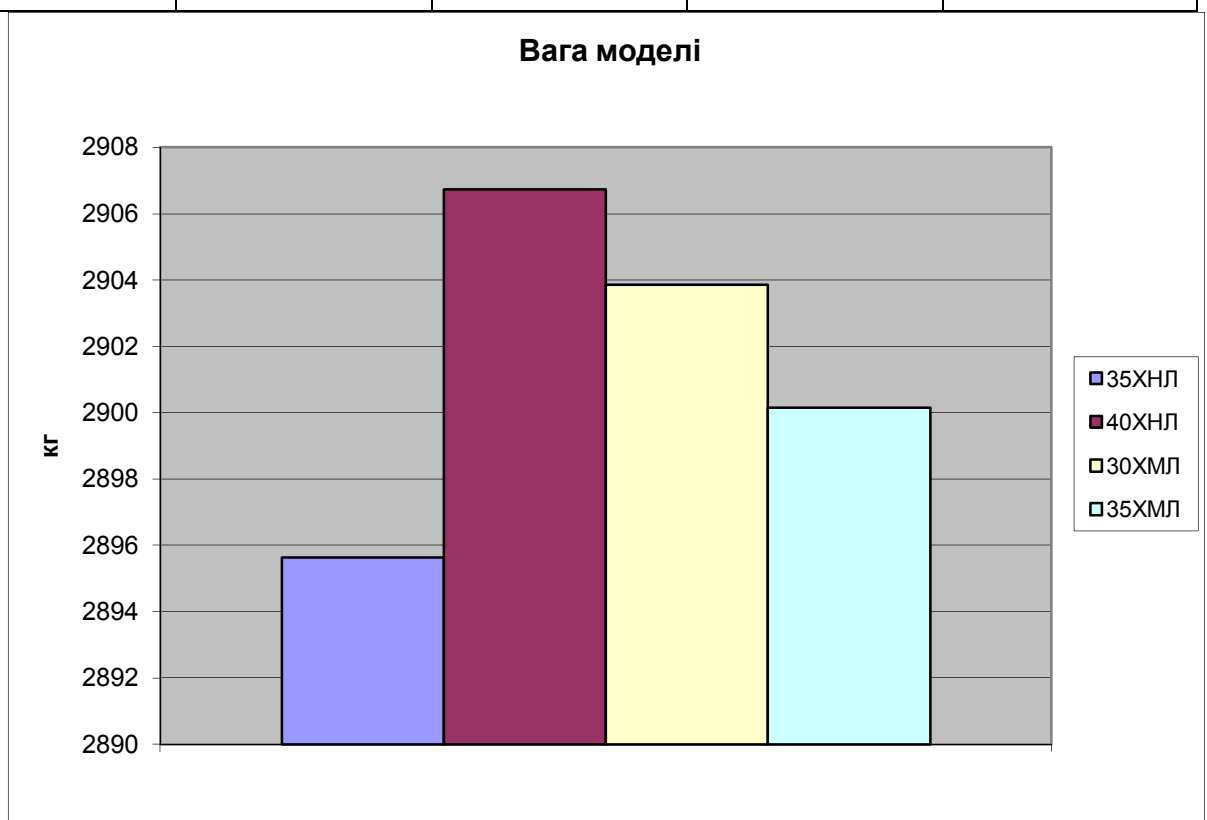


Рисунок 3.3 - Гістограма Вага моделі.

Зі зміною матеріалу моделі хобота змінювалася маса моделі. Таким чином видно (рис. 3.3), що модель хобота зі сталі 35ХНЛ є найлегшою, а зі

сталі 40ХНЛ - найважчою. Зі зміною матеріалу моделі хобота істотної зміни маси хобота не відбувається.

Визначення мінімальної і максимальної еквівалентної напруги по Мізесу є наступним етапом статичного розрахунку.

Напруги по Мізесу (von Mises) - одна з теорій міцності (розглядається та частина потенційної енергії, яка відповідає за зміну форми). Ця теорія дає точне рішення для матеріалів з приблизно однаковими властивостями при розтягуванні-стисненні (не крихкими). Еквівалентні напруження по Мізесу використовуються при оцінці міцності конструкцій, щоб не зв'язуватися з усім тензором напружень.

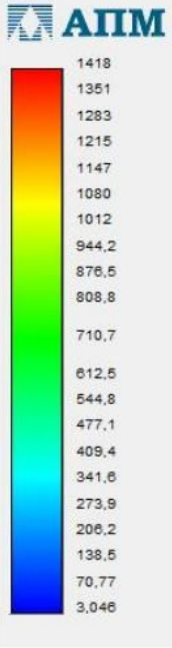
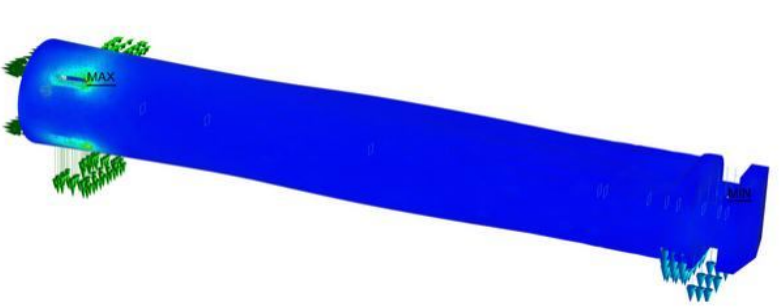
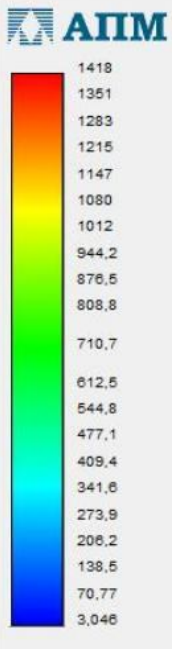
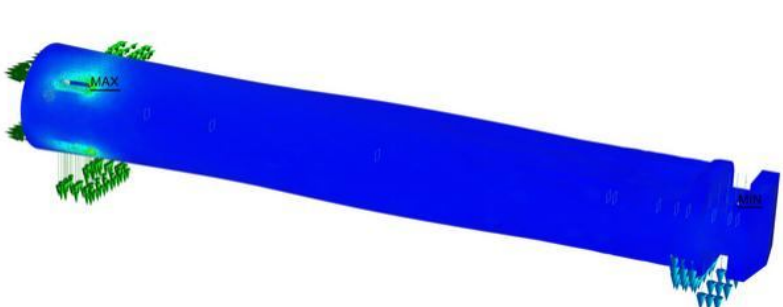
Із звіту розрахунків еквівалентних напружень по Мізесу (табл. 3.4) випливає, що найбільші напруження сконцентровані в пазах для клинів.

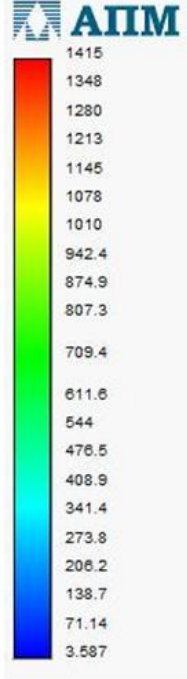
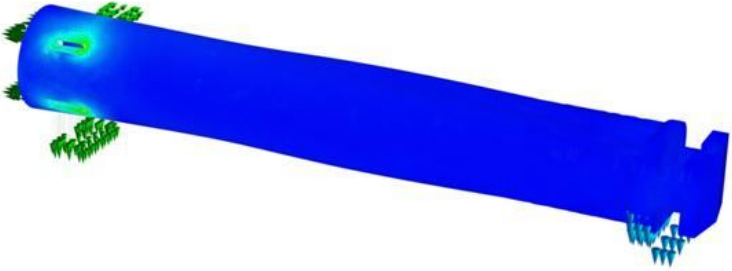
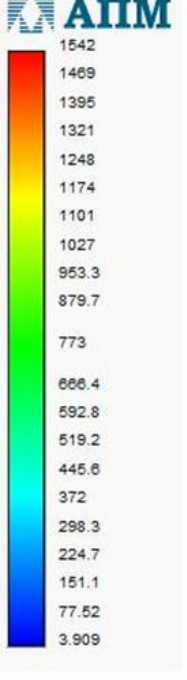
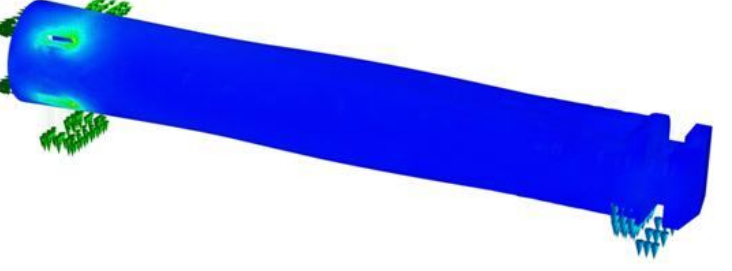
За допомогою програми Microsoft Office Excel побудова гістограми для наочного порівняння результатів розрахунку (рис. 3.4; 3.5).

Проаналізувавши результати розрахунків отримали наступні результати:

- модель хобота зі сталей 35ХНЛ і 40 ХНЛ сприймає абсолютно однакові як максимальні так і мінімальні напруги, при цьому мінімальні значення є менше ніж значення мінімальних напружень в досліджуваній моделі зі сталей 30ХМЛ і 35ХМЛ;
- модель хобота зі сталі 35ХМЛ сприймає найбільші як мінімальні так і максимальні напруги.
- модель хобота зі сталі 30ХМЛ сприймає найменші максимальні еквівалентні напруження по Мізесу.
- різниця між максимальними значеннями еквівалентних напружень моделі хобота зі сталі 30ХМЛ і 35ХМЛ становить майже 127МПа .

Таблиця 3.4 - Еквівалентні напруження по Мізесу (результати розрахунку наведені на оригінальному мовою програми).

Матеріал	Результати розрахунку											
1	2											
35ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>3,045868</td> <td>1418,260712</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3,045868	1418,260712			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3,045868	1418,260712									
												
40ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>3,045868</td> <td>1418,260712</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3,045868	1418,260712			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3,045868	1418,260712									
												

1	2											
30ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>3.587357</td> <td>1415.304771</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3.587357	1415.304771			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3.587357	1415.304771									
												
35ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>3.909134</td> <td>1542.178934</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3.909134	1542.178934			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	3.909134	1542.178934									
												

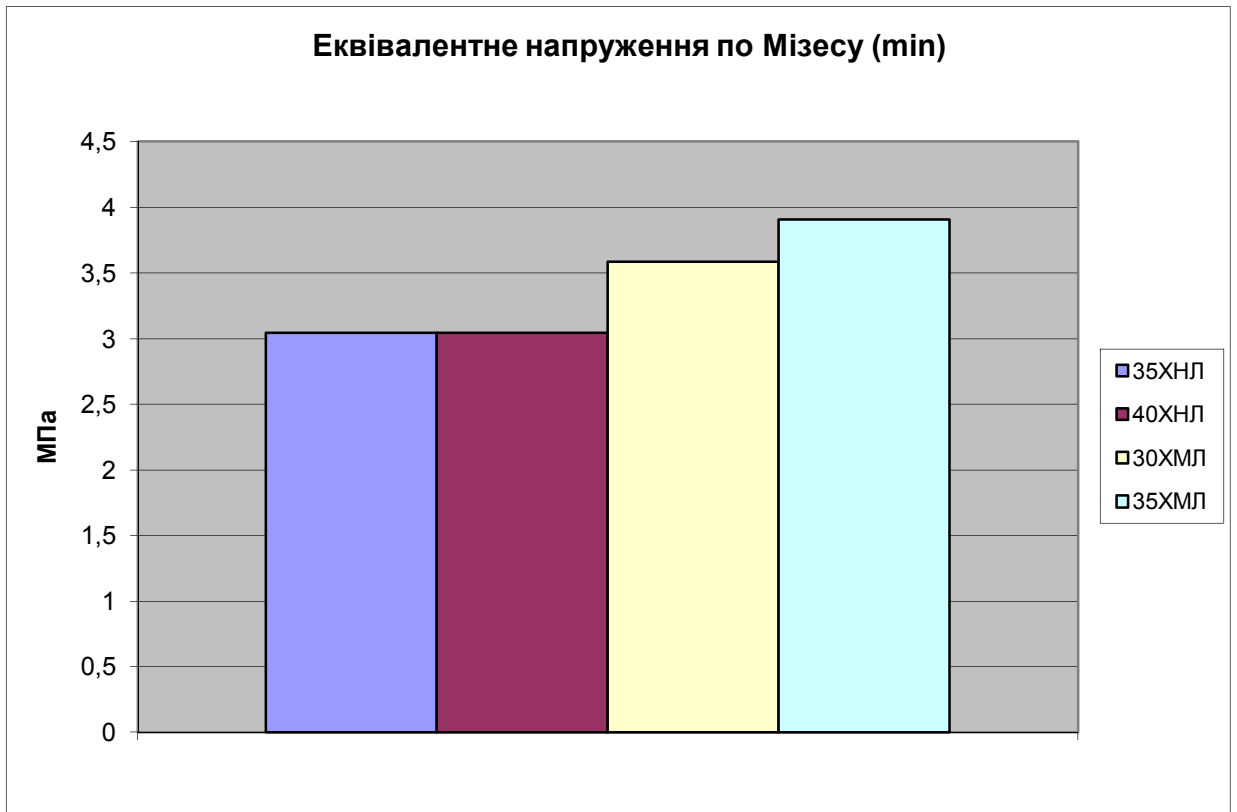


Рисунок 3.4 - Гістограма еквівалентного напруження по Мізесу (min).

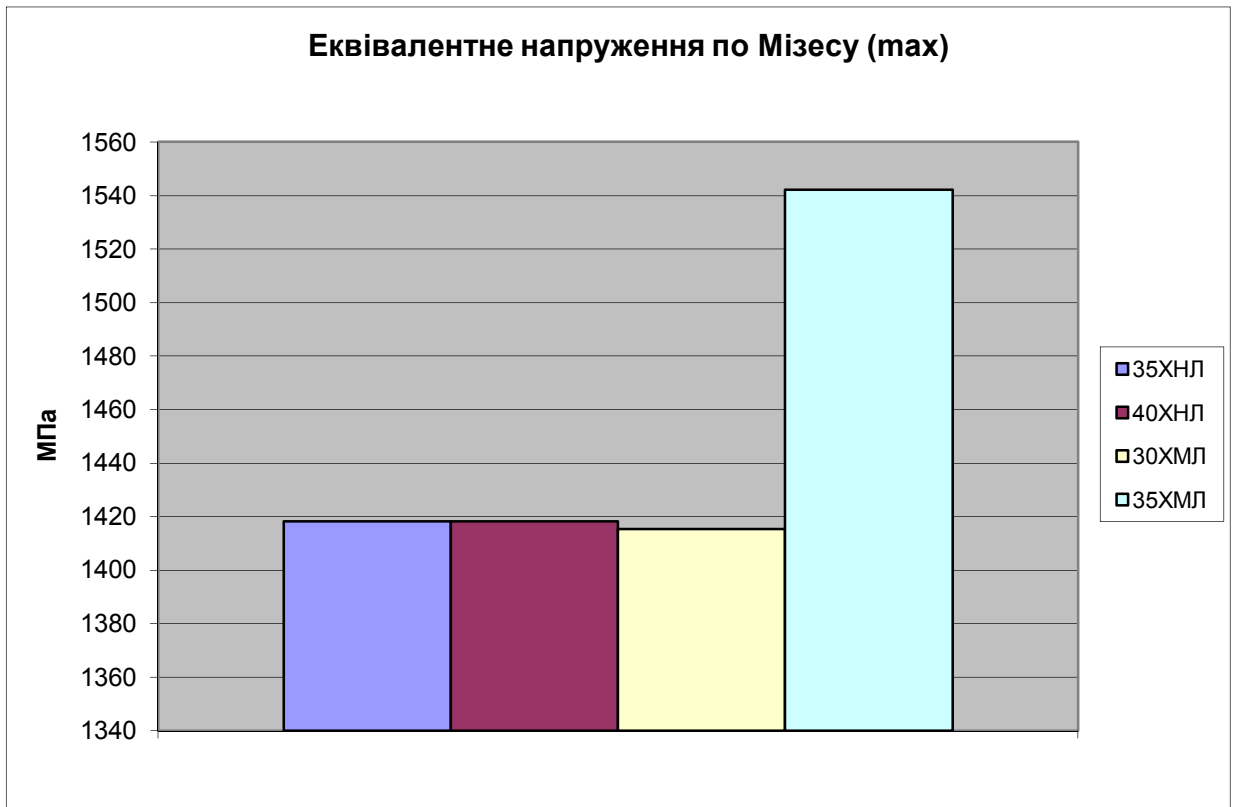
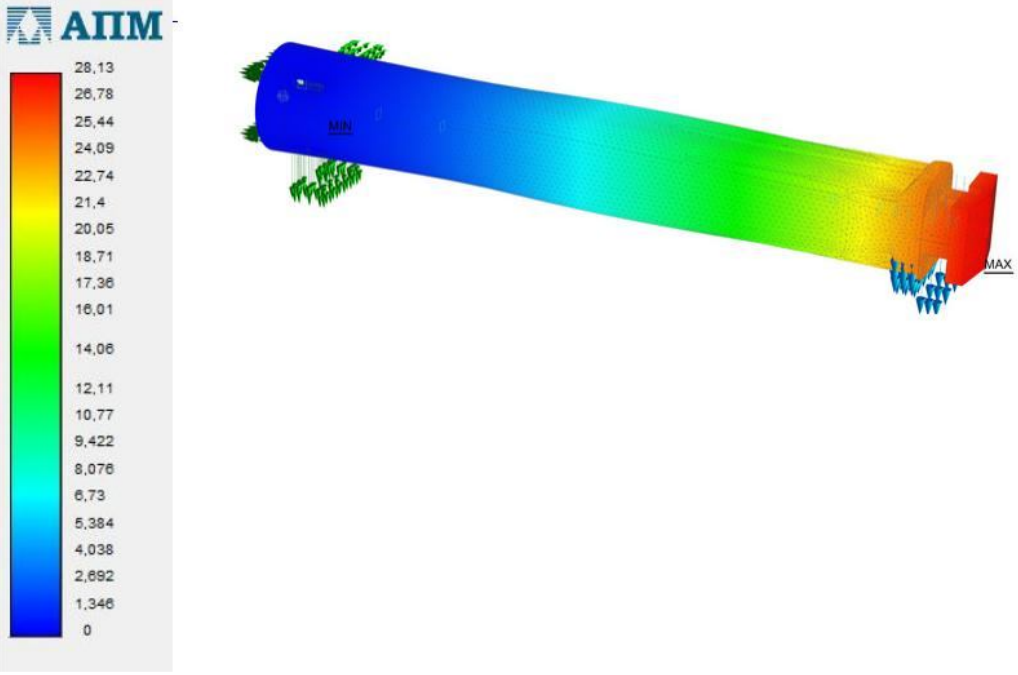
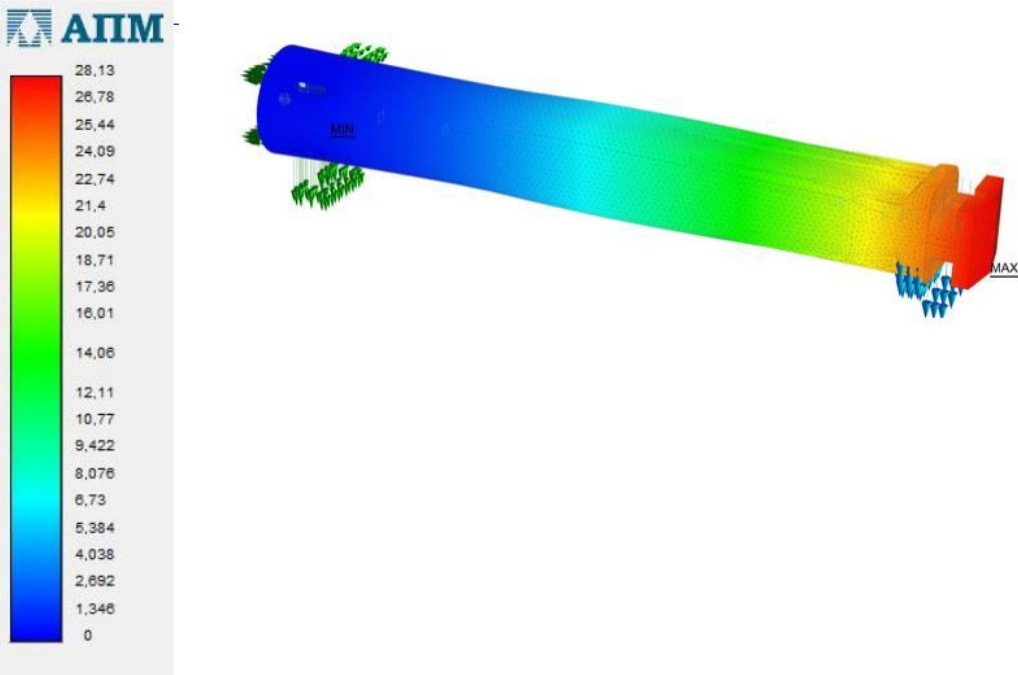


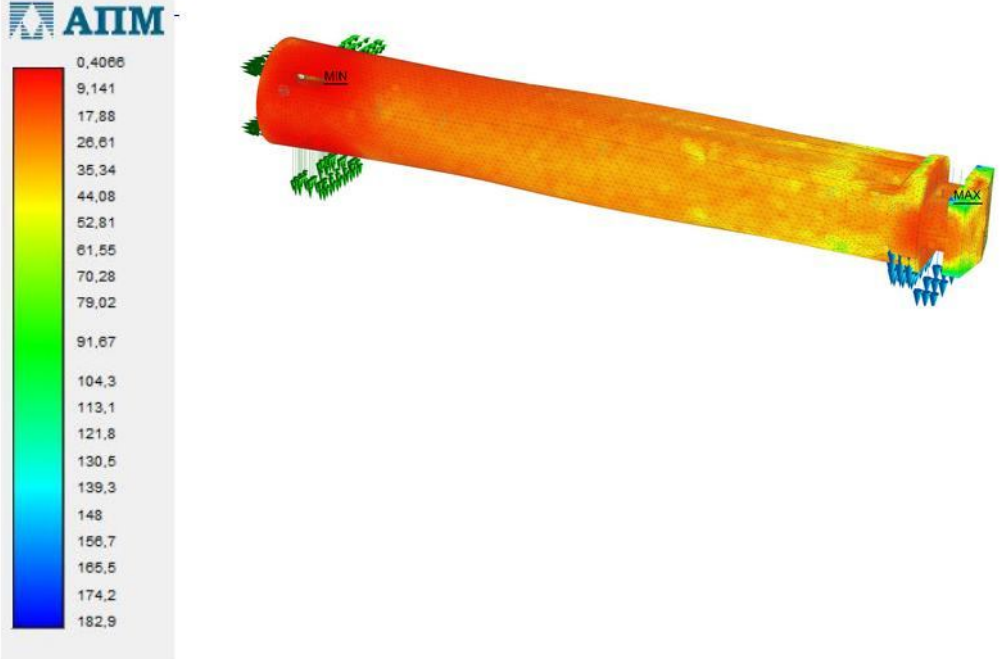
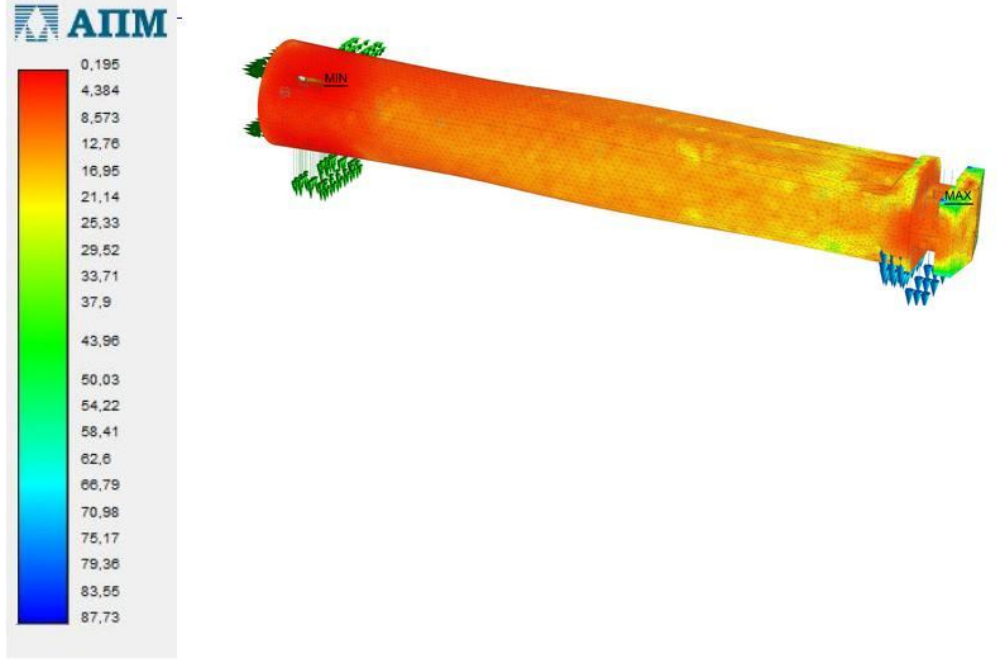
Рисунок 3.5 - Гістограма еквівалентного напруження по Мізесу (max).

Таблица 3.5 - Сумарне лінійне переміщення (результати розрахунку наведені на оригінальному мовою програми).

Матеріал	Результати розрахунку											
1	2											
35ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0,</td> <td>28,127205</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	28,127205			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	28,127205									
												
40ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0,</td> <td>28,127205</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	28,127205			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	28,127205									
												

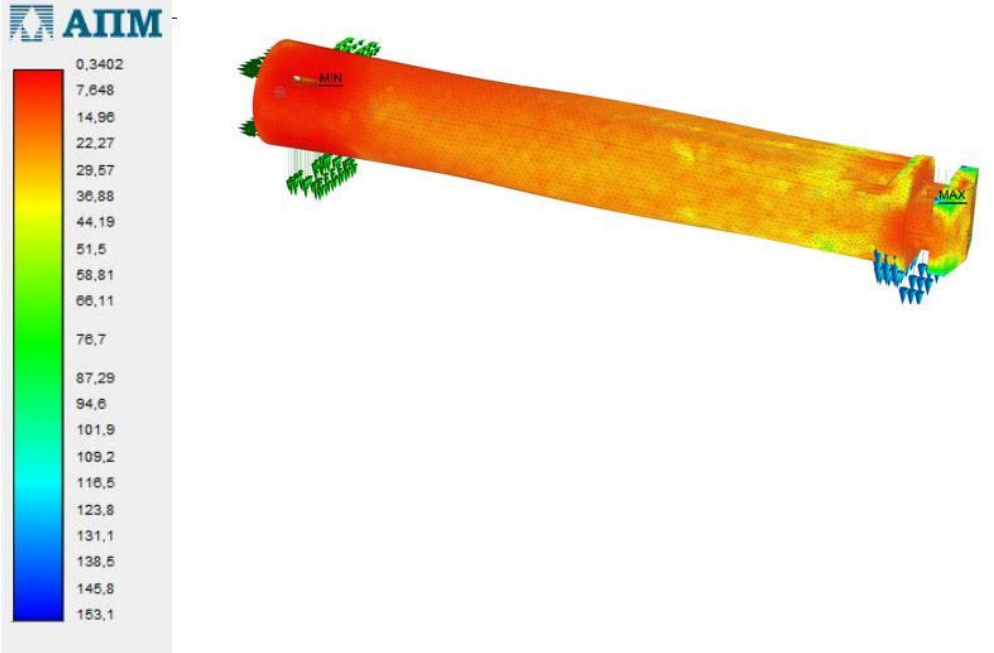
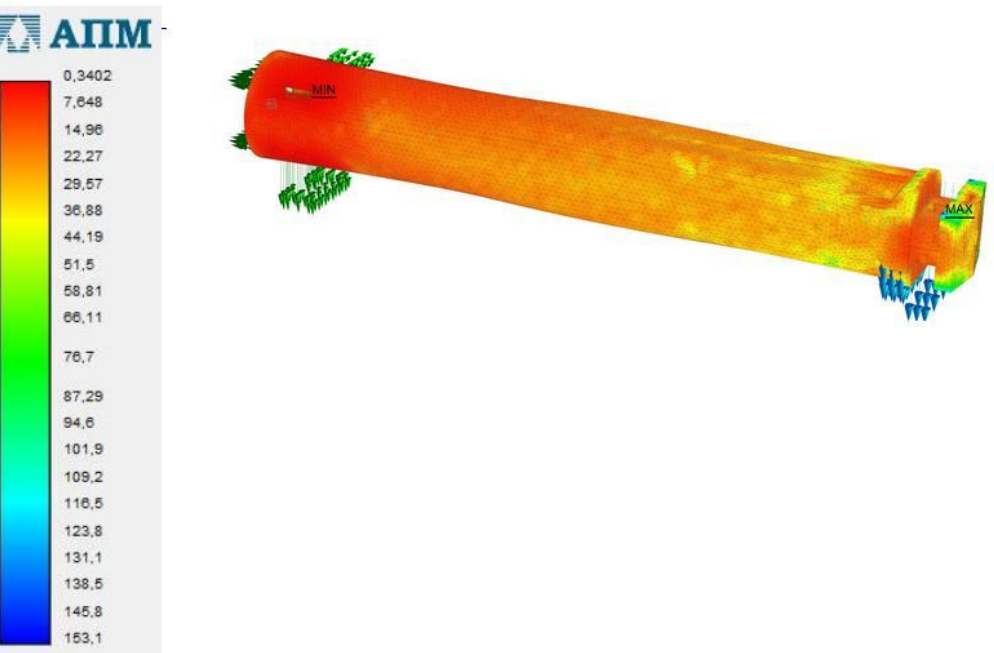
1	2											
30ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0</td> <td>29.133655</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	29.133655			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	29.133655									
<div data-bbox="427 349 603 999"> <p>АПМ</p> <p>29.13 27.74 26.35 24.95 23.56 22.16 20.77 19.38 17.98 16.59 14.57 12.55 11.15 9.759 8.365 6.97 5.576 4.182 2.788 1.394 0</p> </div> <div data-bbox="711 743 1417 999"> </div>												
35ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0</td> <td>29.570497</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	29.570497			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	29.570497									
<div data-bbox="427 1151 603 1800"> <p>АПМ</p> <p>29.57 28.16 26.74 25.33 23.91 22.5 21.08 19.67 18.25 16.84 14.79 12.73 11.32 9.905 8.49 7.075 5.66 4.245 2.83 1.415 0</p> </div> <div data-bbox="711 1550 1417 1800"> </div>												

Таблица 3.6 - Коэффициент запаса по пластичности (результаты расчета приведены на оригинальном языке программы).

Материал	Результаты расчета											
1	2											
35ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>0,406573</td> <td>182,935828</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по текучести		0,406573	182,935828			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по текучести		0,406573	182,935828									
												
40ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>0,194989</td> <td>87,73453</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по текучести		0,194989	87,73453			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по текучести		0,194989	87,73453									
												

1	2											
30ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>0.213432</td> <td>82.567069</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по текучести		0.213432	82.567069			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по текучести		0.213432	82.567069									
<div data-bbox="427 349 600 1003"> <p>АПМ</p> <p>0.2134</p> <p>4.154</p> <p>8.095</p> <p>12.04</p> <p>15.98</p> <p>19.92</p> <p>23.86</p> <p>27.8</p> <p>31.74</p> <p>35.68</p> <p>41.39</p> <p>47.1</p> <p>51.04</p> <p>54.98</p> <p>58.92</p> <p>62.86</p> <p>66.8</p> <p>70.74</p> <p>74.69</p> <p>78.63</p> <p>82.57</p> </div> <div data-bbox="708 741 1410 999"> </div>												
35ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>0.371441</td> <td>143.716639</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по текучести		0.371441	143.716639			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по текучести		0.371441	143.716639									
<div data-bbox="427 1155 600 1809"> <p>АПМ</p> <p>0.3714</p> <p>7.231</p> <p>14.09</p> <p>20.95</p> <p>27.81</p> <p>34.67</p> <p>41.53</p> <p>48.39</p> <p>55.25</p> <p>62.11</p> <p>72.04</p> <p>81.98</p> <p>88.84</p> <p>95.7</p> <p>102.6</p> <p>109.4</p> <p>116.3</p> <p>123.1</p> <p>130</p> <p>136.9</p> <p>143.7</p> </div> <div data-bbox="708 1554 1410 1812"> </div>												

Таблица 3.7 - Коэффициент запаса по прочности (результаты расчета на оригинальном языке программы).

Материал	Результаты расчета											
1	2											
35ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>0,340194</td> <td>153,068754</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по прочности		0,340194	153,068754			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по прочности		0,340194	153,068754									
												
40ХНЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>0,340194</td> <td>153,068754</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по прочности		0,340194	153,068754			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по прочности		0,340194	153,068754									
												

1	2											
30ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>0.301749</td> <td>116.732752</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по прочности		0.301749	116.732752			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по прочности		0.301749	116.732752									
<div data-bbox="427 349 600 1003"> <p>АПМ</p> <p>0.3017</p> <p>5.873</p> <p>11.44</p> <p>17.02</p> <p>22.59</p> <p>28.16</p> <p>33.73</p> <p>39.3</p> <p>44.87</p> <p>50.44</p> <p>58.52</p> <p>66.59</p> <p>72.16</p> <p>77.73</p> <p>83.3</p> <p>88.88</p> <p>94.45</p> <p>100</p> <p>105.6</p> <p>111.2</p> <p>116.7</p> </div> <div data-bbox="708 743 1414 1003"> </div>												
35ХМЛ	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коэффициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>0.39778</td> <td>153.907455</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент запаса по прочности		0.39778	153.907455			
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение								
Коэффициент запаса по прочности		0.39778	153.907455									
<div data-bbox="427 1155 600 1809"> <p>АПМ</p> <p>0.3978</p> <p>7.743</p> <p>15.09</p> <p>22.43</p> <p>29.78</p> <p>37.13</p> <p>44.47</p> <p>51.82</p> <p>59.16</p> <p>66.51</p> <p>77.15</p> <p>87.8</p> <p>95.14</p> <p>102.5</p> <p>109.8</p> <p>117.2</p> <p>124.5</p> <p>131.9</p> <p>139.2</p> <p>146.6</p> <p>153.9</p> </div> <div data-bbox="708 1550 1414 1809"> </div>												

Максимальне лінійне переміщення спостерігається в шийці хобота (табл. 3.5), де відбувається з'єднання хобота з мульдою. Найбільше значення максимального лінійного переміщення (рис. 3.6) з розрахунку виходять в моделі хобота зі сталі 35ХМЛ, найменші - із сталей 35ХНЛ і 40ХНЛ.

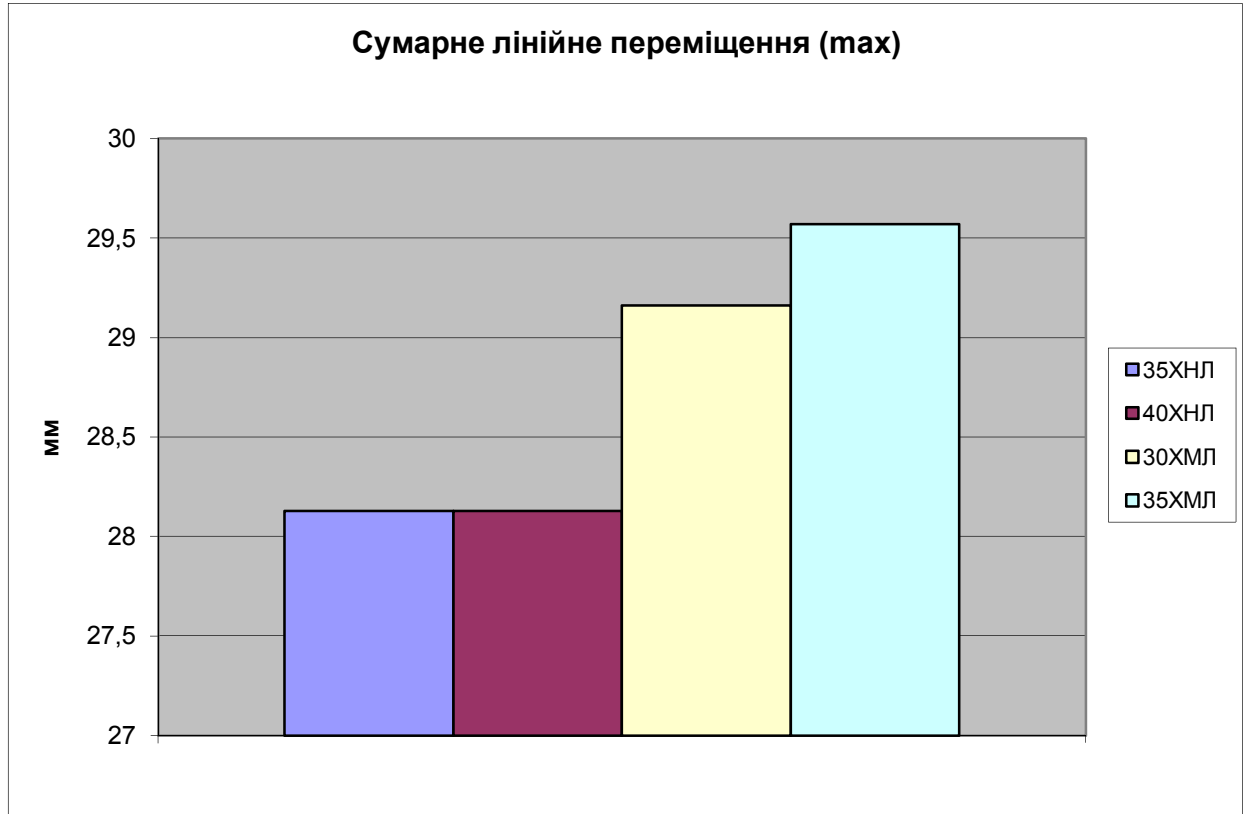


Рисунок 3.6 - Гістограма сумарного лінійного переміщення.

Мінімальне значення коефіцієнта запасу по плинності досліджуваної моделі спостерігається в пазах для клинів і шийці хобота (табл.3.6). Найменше значення коефіцієнта запасу плинності (рис.3.7) з розрахунку виходить в моделі хобота зі сталі 40 ХНЛ, найбільше - зі сталі 35ХНЛ. Такі маленькі значення коефіцієнтів запасу міцності не зовсім відповідають дійсності. На практиці хобот сприймає менші навантаження і частину навантажень сприймає мундштук, який входить у з'єднання з хоботом.

Мінімальне значення коефіцієнта запасу по міцності досліджуваної моделі спостерігається в пазах для клинів і шийці хобота (табл. 3.7). Найменше значення коефіцієнта запасу міцності (рис. 3.8) з розрахунку виходить в моделі хобота зі сталі 30 ХМЛ, найбільше - зі сталі 35ХМЛ. Такі маленькі значення коефіцієнтів запасу міцності не зовсім відповідають

дійсності. На практиці хобот сприймає менші навантаження і частину навантажень сприймає мундштук, який входить у з'єднання з хоботом.

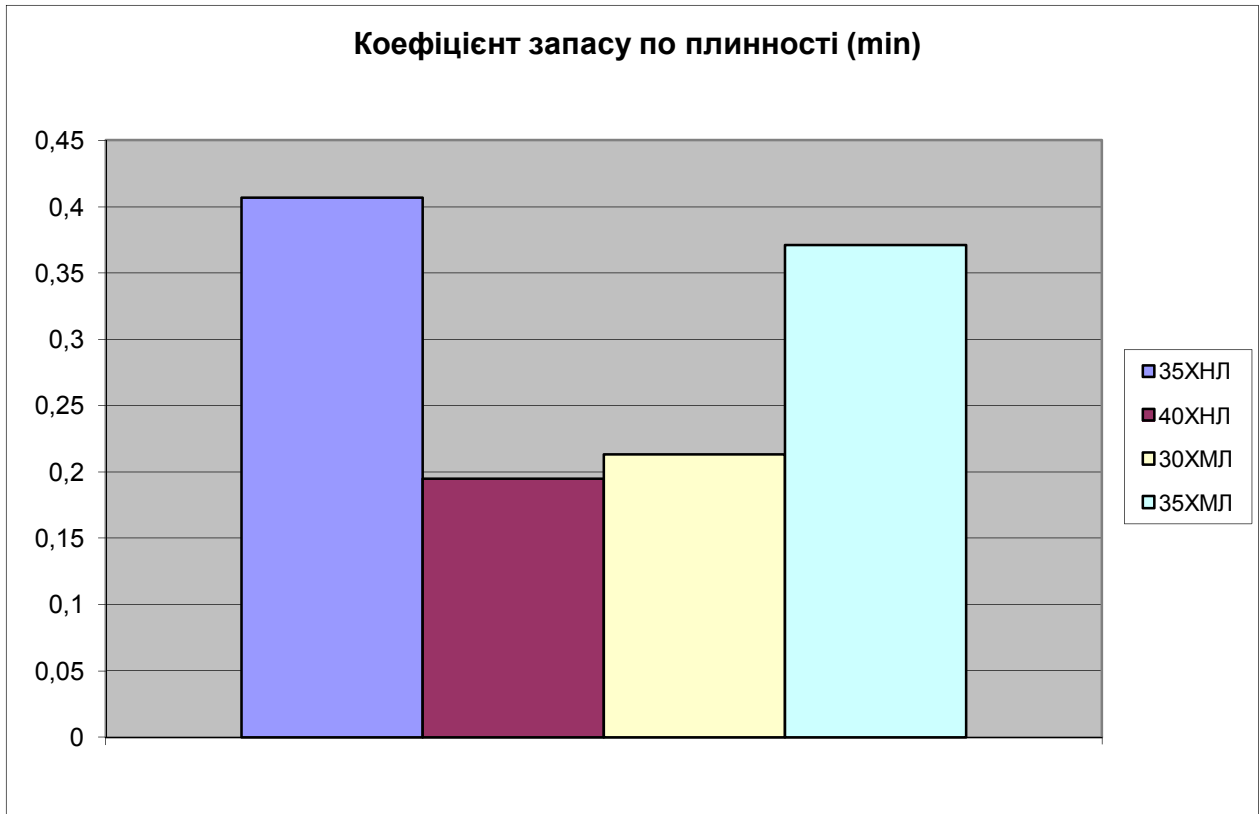


Рисунок 3.7 - Гістограма коефіцієнту запасу плинності.

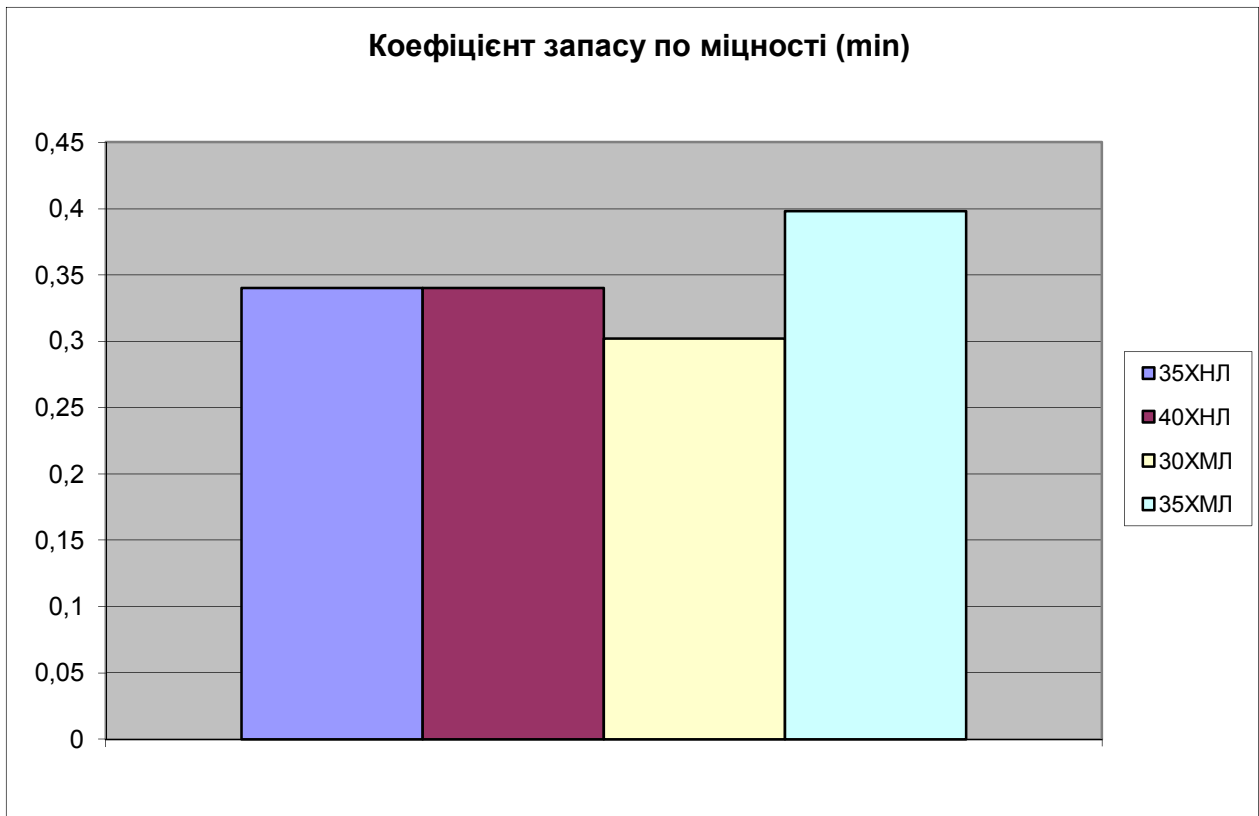


Рисунок 3.8 - Гістограма коефіцієнту запасу міцності.

3.2.4 Висновки за результатами статичного розрахунку

Проаналізувавши і взявши до уваги гістограму маса моделі (рис. 3.3), гістограму еквівалентного напруги по Мізесу (\max) (рис.3.5), гістограми коефіцієнтів запасу по плинності та міцності (рис. 3.7, 3.8), а також інформацію наведену в літературі [12], можна зробити висновок, що використання цільного литого хобота не доцільно. Використовуючи рекомендації [12], побудуємо твердотільну модель збірного двоскладового хобота.

3.3 Конструкція збірного хобота

Збірний хобот (рис. 3.9) виготовляють з двох частин: литого стрижня 1 і змінного кінцевика 2. З'єднання двох частин відбувається по гарячій посадці за допомогою гнізда і вхідного в нього виступу і кільцевого зварного шва, встановлений на ньому захисний кожух 3, що охоплює місце з'єднання і закріплений деталями кріплення. Для забезпечення закріплення і передачі крутного моменту, крім посадки використовується закріплення двох частин за допомогою штифтів 4. Зверху на місце з'єднання одягається бандаж, котрий закріплюється болтами 5 до корпусу хобота. Таке виконання конструкції істотно спрощує демонтаж.

3.3.1 Розрахунок штифтового з'єднання

Проведемо розрахунок штифтового з'єднання в програмі APM WinMachine в модулі APM Joint:

Таблиця 3.8 - Вихідні дані.

Діаметр валу (мм)	350
Передавальний момент ($H \cdot m$)	12170
Осьова сила (Н)	0
Кут встановлення штифта (град)	90
Тип навантаження	Знакозмінне

Таблиця 3.9 - Результати розрахунку.

	Число штифтів			
	1	2	3	4
Діаметр штифта (мм)	42	30	24	21
Допустиме напруження зрізу (МПа)	51,25	51,25	51,25	51,25
Напруга зрізу (МПа)	50,195	49,192	51,241	50,195

Приймаємо кількість штифтів рівну двом.

3.3.2 Розрахунок та вибір посадки

Проведемо розрахунок та вибір посадки в програмі APM WinMachine в модулі APM Joint (Результати розрахунків наведено в таблицях на оригінальній мові програми):

Соединение: Цилиндрическое с натягом

Таблиця 3.10 - Исходные данные.

Диаметр вала	350.0	мм
Диаметр отверстия вала	100.0	мм
Диаметр втулки	462.0	мм
Передаваемый момент	12170	Нм
Опрокидывающий момент	0.0	Нм
Осевая сила	0.0	Н
Радиальная сила	0.0	Н
Шероховатость поверхности вала	12.5	мкм
Шероховатость поверхности втулки	12.5	мкм
Длина соединения	300.0	мм
Козфф. трения	0.5	-
Система посадки	Система отверстия	

Таблица 3.11 - Результаты расчёта

Минимальный требуемый натяг	143.662	МКМ
Максимально допустимый натяг	561.298	МКМ

Обозначение посадки	Мин. Натяг [мкм]	Макс. Натяг [мкм]	Мин. Сила Запрессовки [Н]	Макс. Сила Запрессовки [Н]
H3/s6	177.0000	226.0000	802367.1246	1.798e+006
H4/s6	172.0000	226.0000	700801.6658	1.798e+006
H4/s7	172.0000	247.0000	700801.6658	2.224e+006
H5/s6	165.0000	226.0000	558610.0234	1.798e+006
H5/s7	165.0000	247.0000	558610.0234	2.224e+006
H5/s8	165.0000	279.0000	558610.0234	2.874e+006
H6/s6	154.0000	226.0000	335166.0141	1.798e+006
H6/s7	154.0000	247.0000	335166.0141	2.224e+006
H6/s8	154.0000	279.0000	335166.0141	2.874e+006
H6/s9	154.0000	330.0000	335166.0141	3.91e+006
H3/t6	255.0000	304.0000	2.387e+006	3.382e+006
H4/t6	250.0000	304.0000	2.285e+006	3.382e+006
H4/t7	250.0000	325.0000	2.285e+006	3.809e+006
H5/t6	243.0000	304.0000	2.143e+006	3.382e+006
H5/t7	243.0000	325.0000	2.143e+006	3.809e+006
H5/t8	243.0000	357.0000	2.143e+006	4.459e+006
H6/t6	232.0000	304.0000	1.92e+006	3.382e+006
H6/t7	232.0000	325.0000	1.92e+006	3.809e+006
H6/t8	232.0000	357.0000	1.92e+006	4.459e+006
H6/t9	232.0000	408.0000	1.92e+006	5.495e+006
H7/t6	211.0000	304.0000	1.493e+006	3.382e+006
H7/t7	211.0000	325.0000	1.493e+006	3.809e+006
H7/t8	211.0000	357.0000	1.493e+006	4.459e+006
H7/t9	211.0000	408.0000	1.493e+006	5.495e+006
H7/t10	211.0000	498.0000	1.493e+006	7.323e+006
H8/t6	179.0000	304.0000	842993.3081	3.382e+006
H8/t7	179.0000	325.0000	842993.3081	3.809e+006
H8/t8	179.0000	357.0000	842993.3081	4.459e+006
H8/t9	179.0000	408.0000	842993.3081	5.495e+006
H8/t10	179.0000	498.0000	842993.3081	7.323e+006
H3/u6	377.0000	426.0000	4.865e+006	5.86e+006
H4/u6	372.0000	426.0000	4.763e+006	5.86e+006
H4/u7	372.0000	447.0000	4.763e+006	6.287e+006
H5/u6	365.0000	426.0000	4.621e+006	5.86e+006
H5/u7	365.0000	447.0000	4.621e+006	6.287e+006
H5/u8	365.0000	479.0000	4.621e+006	6.937e+006
H6/u6	354.0000	426.0000	4.398e+006	5.86e+006
H6/u7	354.0000	447.0000	4.398e+006	6.287e+006
H6/u8	354.0000	479.0000	4.398e+006	6.937e+006
H6/u9	354.0000	530.0000	4.398e+006	7.973e+006
H7/u6	333.0000	426.0000	3.971e+006	5.86e+006
H7/u7	333.0000	447.0000	3.971e+006	6.287e+006
H7/u8	333.0000	479.0000	3.971e+006	6.937e+006
H7/u9	333.0000	530.0000	3.971e+006	7.973e+006
H8/u6	301.0000	426.0000	3.321e+006	5.86e+006
H8/u7	301.0000	447.0000	3.321e+006	6.287e+006
H8/u8	301.0000	479.0000	3.321e+006	6.937e+006
H8/u9	301.0000	530.0000	3.321e+006	7.973e+006
H9/u6	250.0000	426.0000	2.285e+006	5.86e+006
H9/u7	250.0000	447.0000	2.285e+006	6.287e+006
H9/u8	250.0000	479.0000	2.285e+006	6.937e+006
H9/u9	250.0000	530.0000	2.285e+006	7.973e+006
H10/u7	160.0000	447.0000	457044.5646	6.287e+006
H10/u8	160.0000	479.0000	457044.5646	6.937e+006
H10/u9	160.0000	530.0000	457044.5646	7.973e+006
H3/v6	462.0000	511.0000	6.592e+006	7.587e+006
H4/v6	457.0000	511.0000	6.49e+006	7.587e+006
H4/v7	457.0000	532.0000	6.49e+006	8.014e+006
H5/v6	450.0000	511.0000	6.348e+006	7.587e+006
H5/v7	450.0000	532.0000	6.348e+006	8.014e+006
H6/v6	439.0000	511.0000	6.124e+006	7.587e+006
H6/v7	439.0000	532.0000	6.124e+006	8.014e+006
H7/v6	418.0000	511.0000	5.698e+006	7.587e+006
H7/v7	418.0000	532.0000	5.698e+006	8.014e+006
H8/v6	386.0000	511.0000	5.048e+006	7.587e+006
H8/v7	386.0000	532.0000	5.048e+006	8.014e+006
H9/v6	335.0000	511.0000	4.012e+006	7.587e+006
H9/v7	335.0000	532.0000	4.012e+006	8.014e+006
H10/v7	245.0000	532.0000	2.184e+006	8.014e+006

Посадки виділені в таблиці 3.11 доцільно використовувати.

3.4 Дослідження та порівняння конструкцій хобота

За допомогою системи прочностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D провели експрес-розрахунок твердотільної моделі механізму обертання хобота. Механізм складається з мульди, хобота, мундштука та з'єднувальних елементів (клин, сухар, болт, штифт).

Розрахунок проводився за трьома умовами:

- 1) хобот виконаний цільним з матеріалу сталь 35ХМЛ;
- 2) хобот виконаний збірним з двох частин: стрижня зі сталі 35ХНЛ і змінного кінцевика зі сталі 35 ХМЛ;
- 3) хобот виконаний збірним з двох частин: стрижня зі сталі 25Л і змінного кінцевика зі сталі Ст3, як вказано в літературі [2, с.182].

3.4.1 Інформація про навантаження і закріплення

Вага моделі порожньої мульди становить $Q_M = 30000H$. Для досягнення навантаження, що дорівнює 10 тонн, до дна мульди прикладена розподілена сила $Q_1 = 70000H$. До шліців прикладена сила $Q_2 = 40566H$, яка замінює крутний момент. У місцях під підшипники встановлені закріплення.

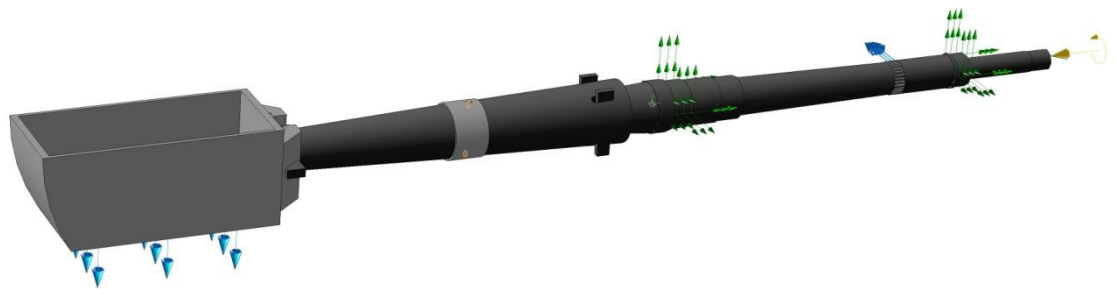


Рисунок 3.9 - Розрахункова модель зі збірним хоботом.



Рисунок 3.10 - Розрахункова модель з цільним хоботом.

3.4.2 Кінцево-елементна сітка

Наступним кроком виконуємо розбиття моделі на кінцево-елементну сітку (рис. 3.11, 3.12) з наступними параметрами:

- максимальна довжина сторони елемента – 30мм;
- максимальний коефіцієнт згущення на поверхні – 1;
- коефіцієнт розрізнення в об'ємі – 1.5.

Отримані результати розбиття:

- кількість кінцевих елементів – 297313 одиниць;
- кількість вузлів – 73436 одиниць.

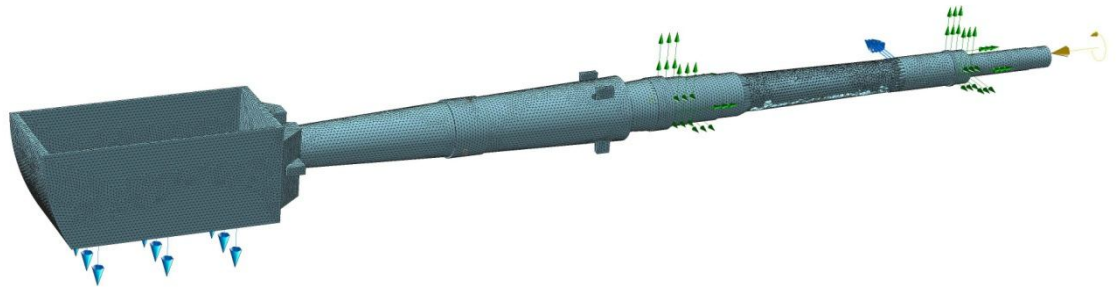


Рисунок 3.11 - Розрахункова модель зі збірним хоботом розбита на кінцево-елементну сітку.

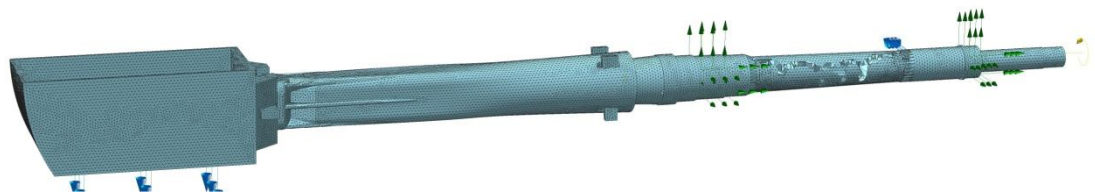


Рисунок 3.12 - Розрахункова модель з цільним хоботом розбита на кінцево-елементну сітку.

Після розбиття моделі на кінцево-елементну сітку проводимо статичний розрахунок.

3.4.3 Результати статичного розрахунку

Таблиця 3.12 - Вага розрахункової моделі.

	Цільний (35ХМЛ)	Збірний (35ХМЛ+35ХНЛ)	Збірний (Ст 3 + 25Л)
Вага [кг]	7649,6	8132,6	8116,2

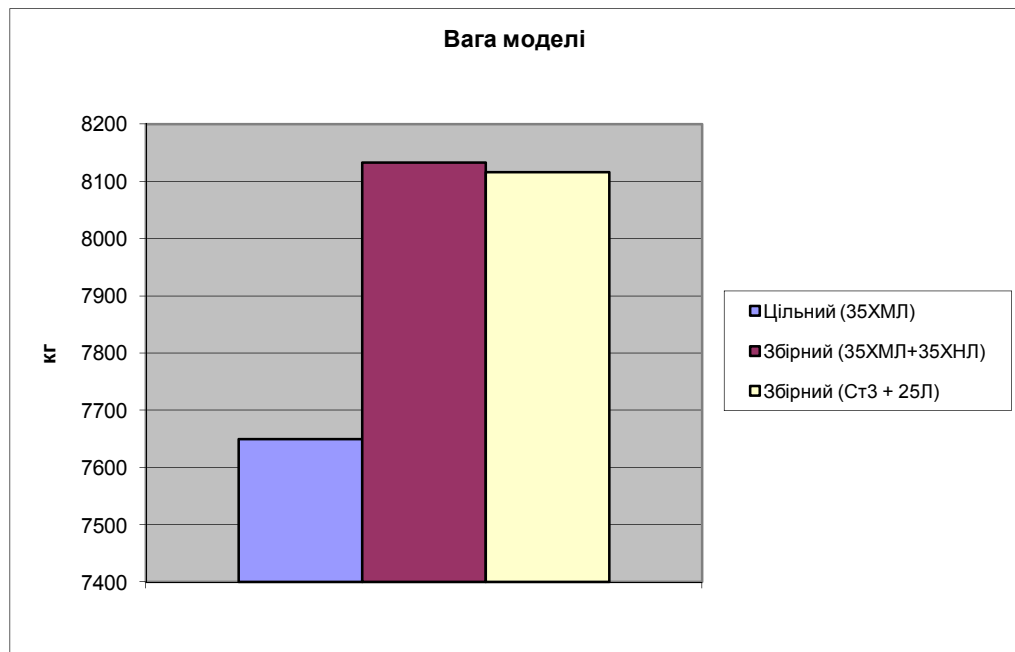


Рисунок 3.13 - Гістограма вага розрахункової моделі.

За результатами розрахунку видно, що зміна конструкції хобота, з цільного на збірний, збільшує масу всієї розрахункової моделі.

Із звіту розрахунків еквівалентних напружень по Мізесу (табл. 3.13) випливає, що у розрахунковій моделі з цільним хоботом місце з найбільшою напругою, як і при розрахунку однієї моделі хобота, залишилося в пазах для клинів, а в розрахунковій моделі зі збірним хоботом, місце з найбільшою напругою знаходиться в місці сполучення хобота.

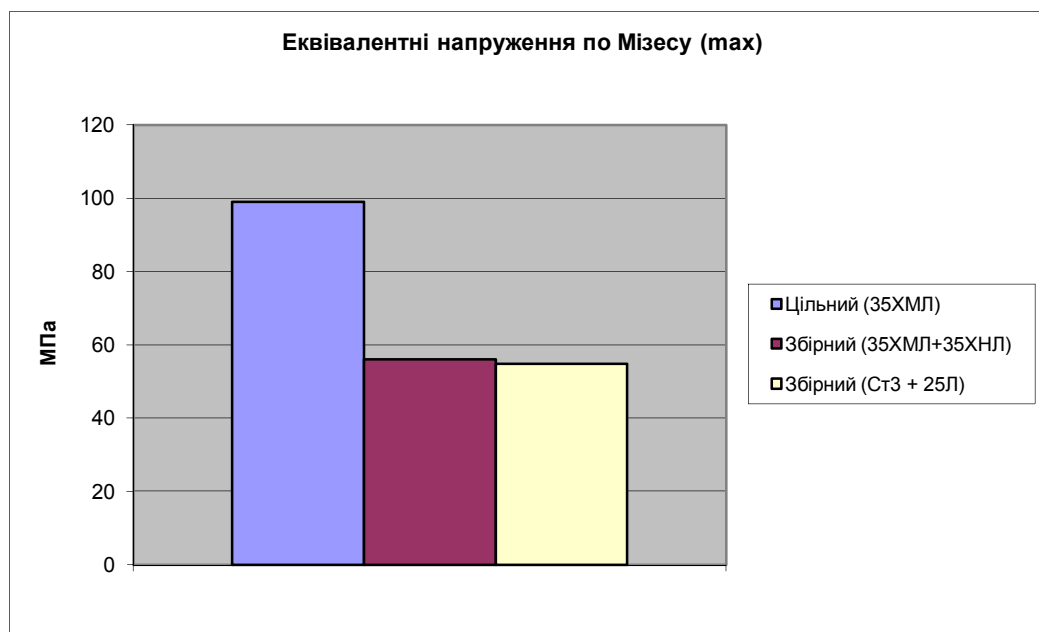
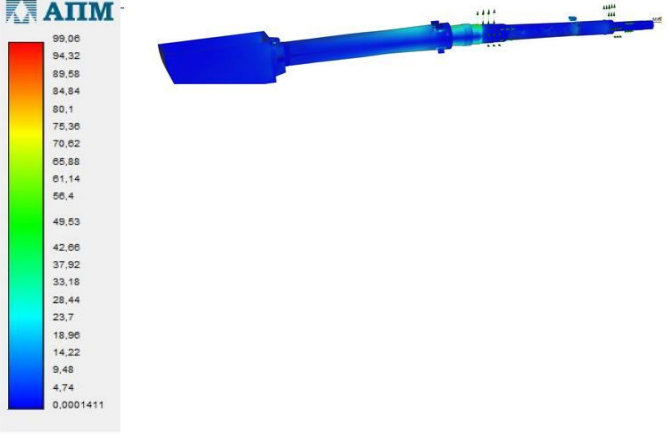
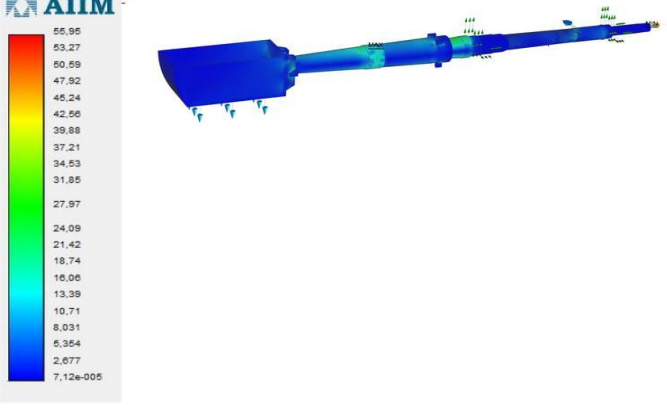



Рисунок 3.14 - Гістограма Гістограма еквівалентного напруження по Мізесу (max).

Таблиця 3.13 - Еквівалентні напруження по Мізесу (результати розрахунку наведені на оригінальному мовою програми).

Матеріал та конструкція хобота	Результати розрахунку								
Цільний (35ХМЛ)	<p>Результаты статического расчета</p> <table border="1" data-bbox="659 443 1377 510"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>0,000141</td> <td>99,056972</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0,000141	99,056972
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0,000141	99,056972						
Збірний (35ХМЛ+ 35ХНЛ)	<p>Результаты статического расчета</p> <table border="1" data-bbox="659 1021 1377 1088"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>0,000071</td> <td>55,946675</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0,000071	55,946675
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0,000071	55,946675						
Збірний (Ст 3 + 25Л)	<p>Результаты статического расчета</p> <table border="1" data-bbox="659 1574 1377 1641"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Эквивалентное напряжение по Мизесу</td> <td>SVM [МПа]</td> <td>0,000071</td> <td>54,750799</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0,000071	54,750799
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Эквивалентное напряжение по Мизесу	SVM [МПа]	0,000071	54,750799						

Проаналізувавши результати розрахунків отримали наступні результати:

- Модель цільного хобота сприймає набагато більші навантаження, ніж модель збірного хобота.
- Обидві моделі збірного хобота сприймають приблизно однакові навантаження, незважаючи на матеріал з якого виготовлені.

Найбільше лінійне переміщення в розрахунковій моделі припадає на модель мульди.

Найбільше максимальне лінійне переміщення спостерігається в розрахунковій моделі з цільним хоботом, найменше - в розрахунковій моделі зі збірним хоботом виготовленим зі сталей Ст3 і 25Л.

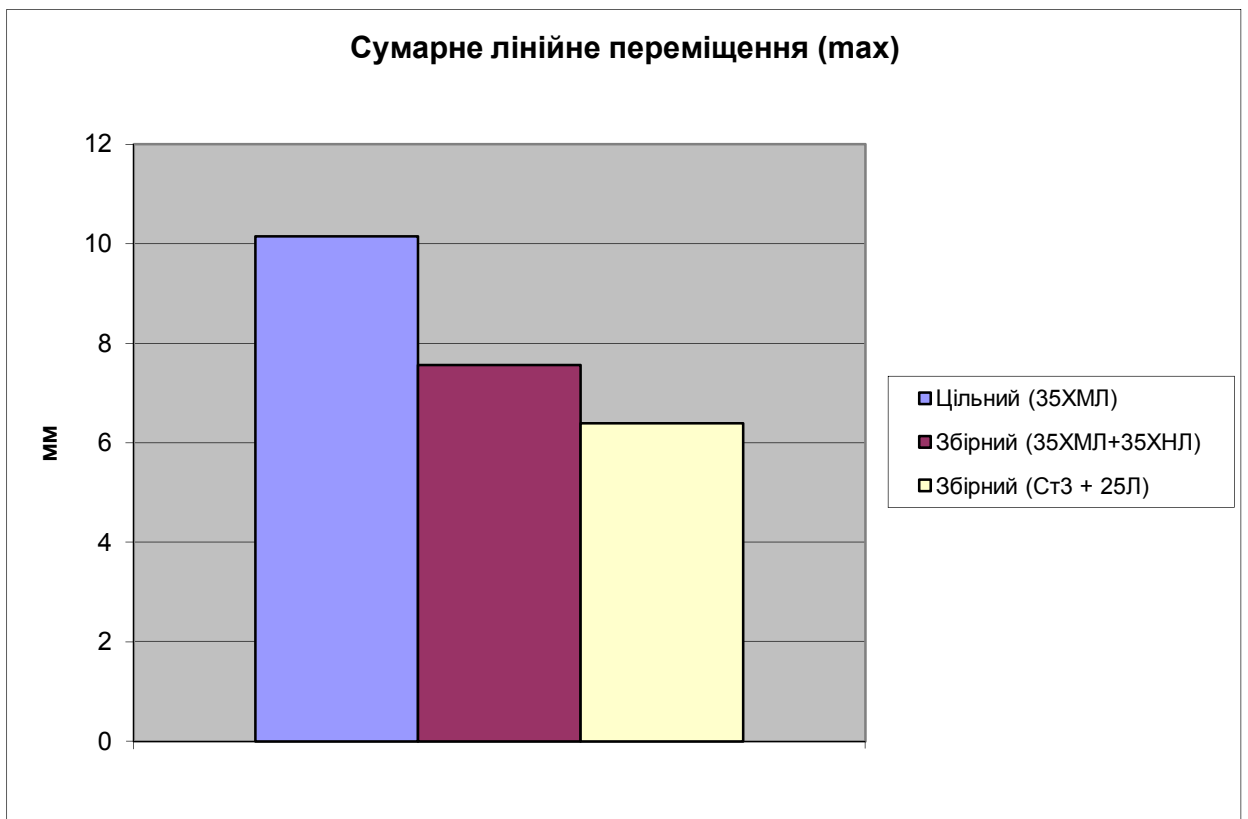
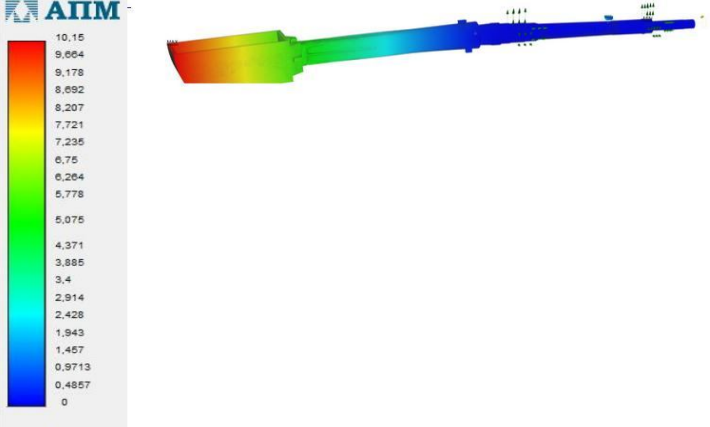
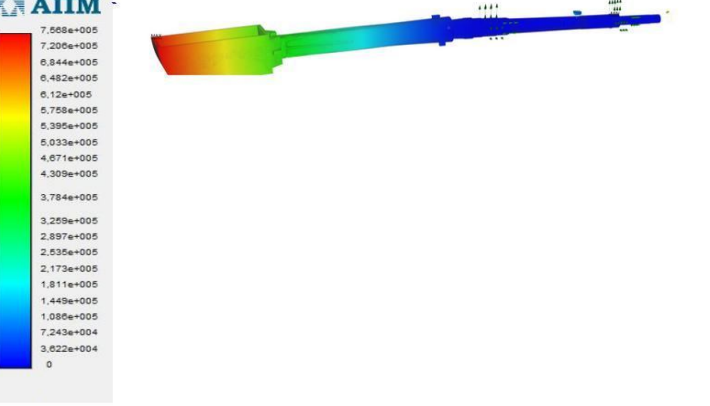
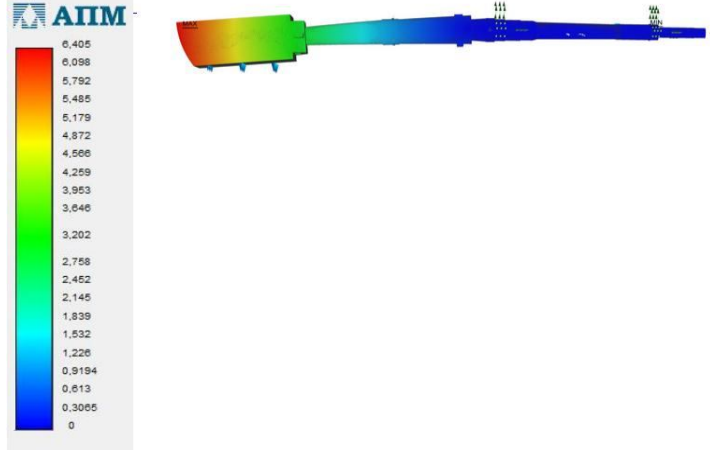





Рисунок 3.15 - Гістограма сумарного лінійного переміщення.

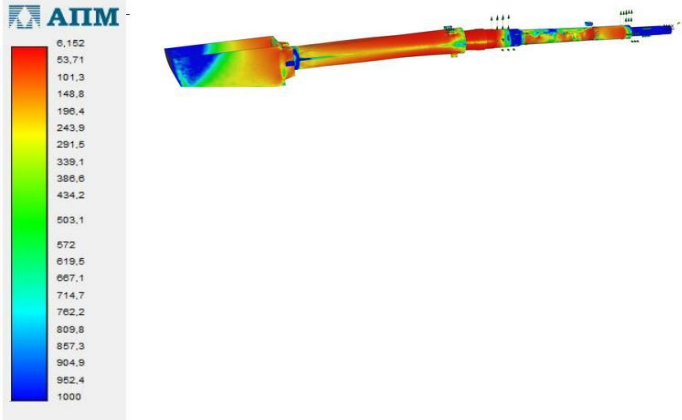
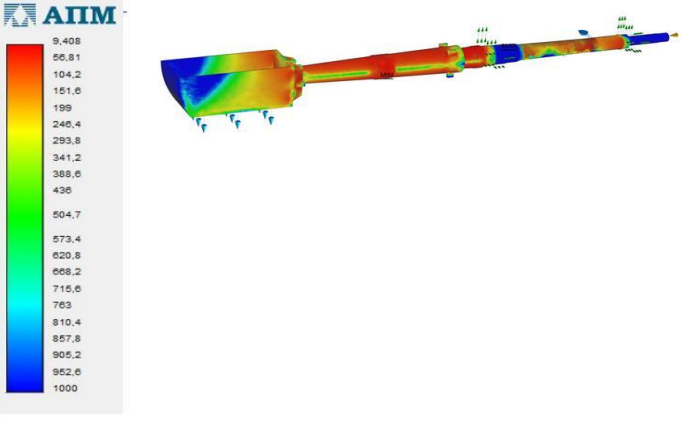
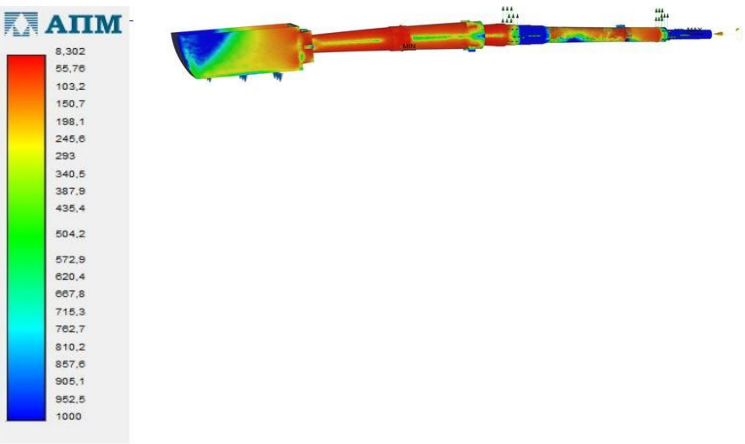
Таблиця 3.14 - Сумарне лінійне переміщення (результати розрахунку наведені на оригінальному мовою програми).

Матеріал та конструкція хобота	Результати розрахунку								
Цільний (35ХМЛ)	<table border="1" data-bbox="635 416 1396 481"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0,</td> <td>10,149271</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	10,149271
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	10,149271						
Збірний (35ХМЛ+ 35ХНЛ)	<table border="1" data-bbox="635 969 1359 1034"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0,</td> <td>7,56</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	7,56
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	7,56						
Збірний (Ст 3 + 25Л)	<table border="1" data-bbox="635 1496 1396 1561"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Суммарное линейное перемещение</td> <td>USUM [мм]</td> <td>0,</td> <td>6,404815</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	6,404815
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0,	6,404815						

Таблиця 3.15 - Коефіцієнт запасу по плинності (результати розрахунку наведені на оригінальному мовою програми).

Матеріал та конструкція хобота	Результати розрахунку								
Цільний (35ХМЛ)	<table border="1" data-bbox="628 416 1406 483"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коеффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>5,305511</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коеффициент запаса по текучести		5,305511	1000,
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Коеффициент запаса по текучести		5,305511	1000,						
Збірний (35ХМЛ+ 35ХНЛ)	<table border="1" data-bbox="628 994 1406 1061"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коеффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>5,59148</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коеффициент запаса по текучести		5,59148	1000,
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Коеффициент запаса по текучести		5,59148	1000,						
Збірний (Ст 3 + 25Л)	<table border="1" data-bbox="628 1547 1406 1615"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коеффициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>4,75873</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коеффициент запаса по текучести		4,75873	1000,
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Коеффициент запаса по текучести		4,75873	1000,						

Таблиця 3.16 - Коефіцієнт запасу по міцності (результати розрахунку наведені на оригінальному мовою програми).

Матеріал та конструкція хобота	Результати розрахунку								
Цільний (35ХМЛ)	<table border="1" data-bbox="647 416 1385 479"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коефициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>6,151668</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коефициент запаса по прочности		6,151668	1000,
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Коефициент запаса по прочности		6,151668	1000,						
Збірний (35ХМЛ+ 35ХНЛ)	<table border="1" data-bbox="647 949 1385 1012"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коефициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>9,407749</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коефициент запаса по прочности		9,407749	1000,
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Коефициент запаса по прочности		9,407749	1000,						
Збірний (Ст 3 + 25Л)	<table border="1" data-bbox="628 1469 1407 1532"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Коефициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>8,302465</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table> 	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Коефициент запаса по прочности		8,302465	1000,
Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение						
Коефициент запаса по прочности		8,302465	1000,						

У перших двох випадках розрахунку мінімальне значення коефіцієнта запасу по плинності досліджуваної моделі спостерігається в пазах клинів, в останньому випадку, в розрахунковій моделі зі збірним хоботом із сталей Ст 3 і 25Л, мінімальне значення коефіцієнта запасу плинності спостерігається в місці з'єднання хобота, а точніше на захисному бандажі.

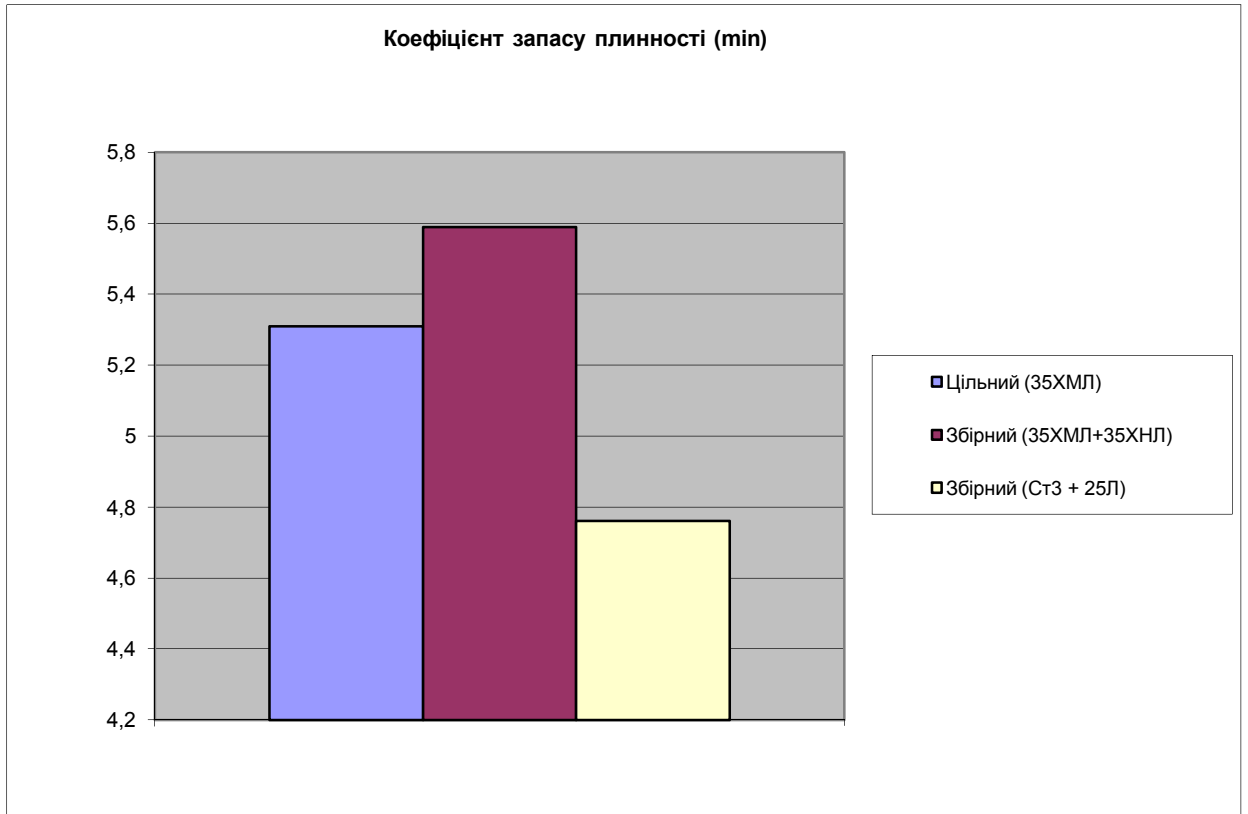


Рисунок 3.16 - Гістограма коефіцієнту запасу плинності.

Мінімальне значення коефіцієнта запасу по міцності, в розрахунковій моделі з цільним хоботом, спостерігається в пазах для клинів. У розрахункових моделях зі збірним хоботом мінімальне значення коефіцієнта запасу по міцності більше, ніж у моделі з цільним хоботом і спостерігається в місці сполучення частин хобота. Що стосується небезпечного перерізу в місцях де знаходяться пази для клинів, то коефіцієнт запасу по міцності у моделей зі збірним хоботом більше.

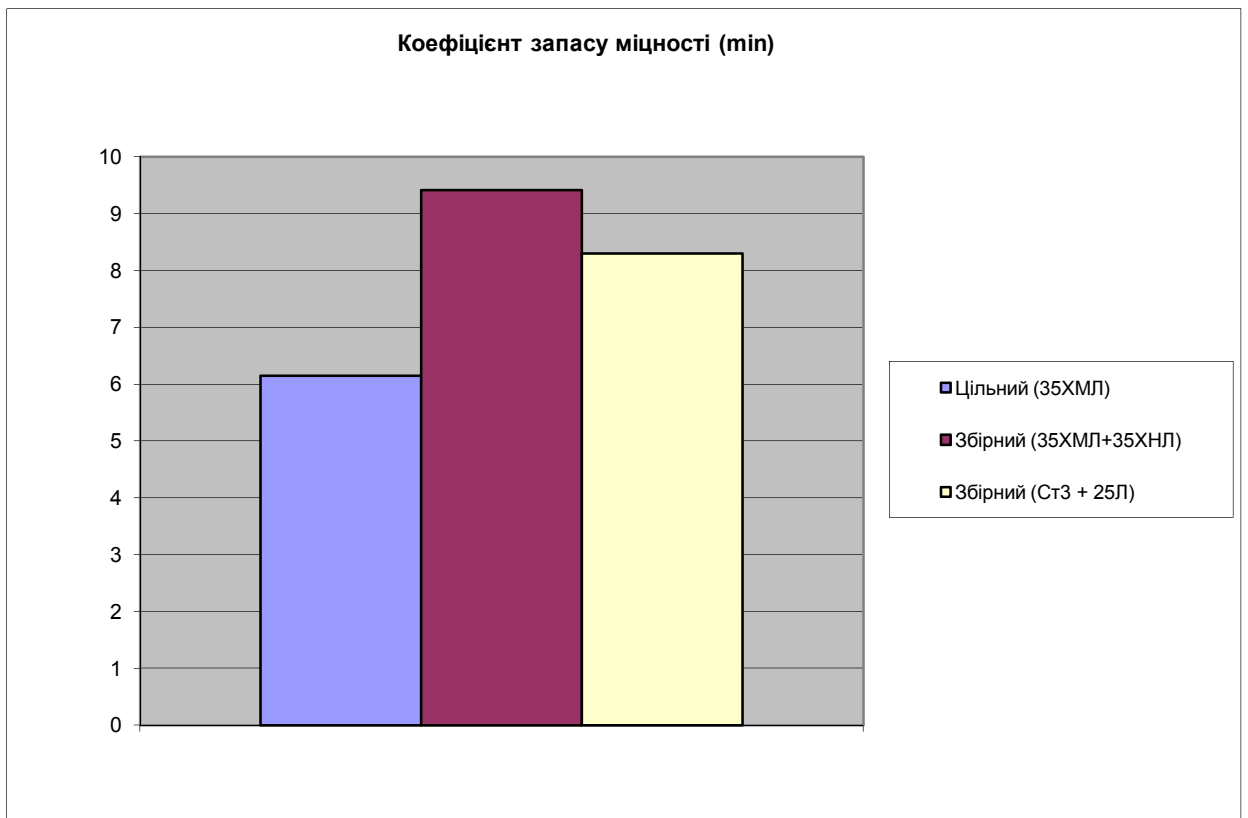


Рисунок 3.17 - Гістограма коефіцієнту запасу міцності.

3.4.4 Висновки за результатами статичного розрахунку

Дослідження дозволили отримати наступні результати:

- розрахункова модель зі збірним хоботом перевершує розрахункову модель з цільним хоботом за міцностними показниками;
- в моделі збірного хобота виникають менші еквівалентні напруження;
- в конструкціях зі збірним хоботом коефіцієнти запасу міцності вище, ніж в конструкції з цільним хоботом;
- розрахункова модель зі збірним хоботом із сталей Ст 3 і 25Л незначно поступається у своїх міцносних властивостях розрахунковій моделі з збірним хоботом із сталей 35ХМЛ і 35ХНЛ;
- недоліком моделі зі збірним хоботом виявилось збільшення маси всієї конструкції на 500 кг (6,5% від всієї ваги), однак можливо зменшити масу за рахунок змінення конструкції.

3.5 Розрахунок збірного хобота.

За допомогою системи прочностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D провели експрес-розрахунок твердотільної моделі збірного хобота. Збірний хобот складається з литого стрижня зі сталі 35 ХНЛ, змінного кінцевика зі сталі 35 ХМЛ, з'єднувальних елементів (штифт, болт, захисний кожух).

Маса моделі збірного хобота зменшена до маси литого хобота за рахунок зменшення товщини стінок елементів.

3.5.1 Інформація про навантаження і закріплення.

На шийку хобота прикладена розподілена сила: $G = 100000H$ - вага завантаженої мульди. У пазах, для клинів які з'єднують хобот з мундштуком, встановлено закріплення, яке обмежує рух відносно всіх осей (рис. 3.18).

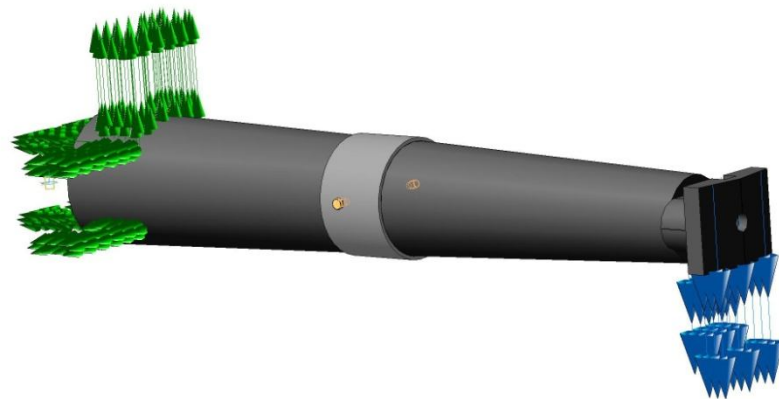


Рисунок 3.18 – Модель збірного хобота з доданими навантаженням і закріпленням.

3.5.2 Кінцево-елементна сітка.

Наступним кроком виконуємо розбиття моделі на кінцево-елементну сітку (рис. 3.19) з наступними параметрами:

- максимальна довжина сторони елемента – 30мм;
- максимальний коефіцієнт згущення на поверхні – 1;
- коефіцієнт резріження в об'ємі – 1.5.

Отримані результати розбиття:

- кількість кінцевих елементів – 109156 одиниць;
- кількість вузлів – 25739 одиниць.

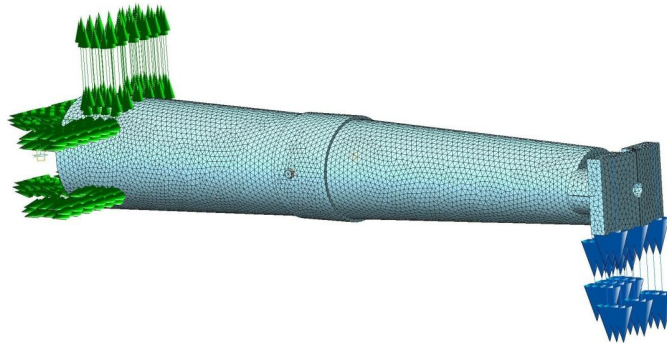


Рисунок 3.19 – Модель збирного хобота розбита на кінцево-елементну сітку.

Після розбиття моделі на кінцево-елементну сітку проводимо статичний розрахунок.

3.5.3 Результати статичного розрахунку.

Таблиця 3.17 Вага моделі хобота.

	Збірний хобот [35ХМЛІ+35ХНЛ]	Цільний хобот [35ХМЛ]
Маса [кг]	2788,681	2900,163

Мінімальні коефіцієнти запасу плинності і міцності збірної конструкції хобота за розрахунком дорівнюють відповідно 12,72 і 14,93, що задовольняє умовам експлуатації.

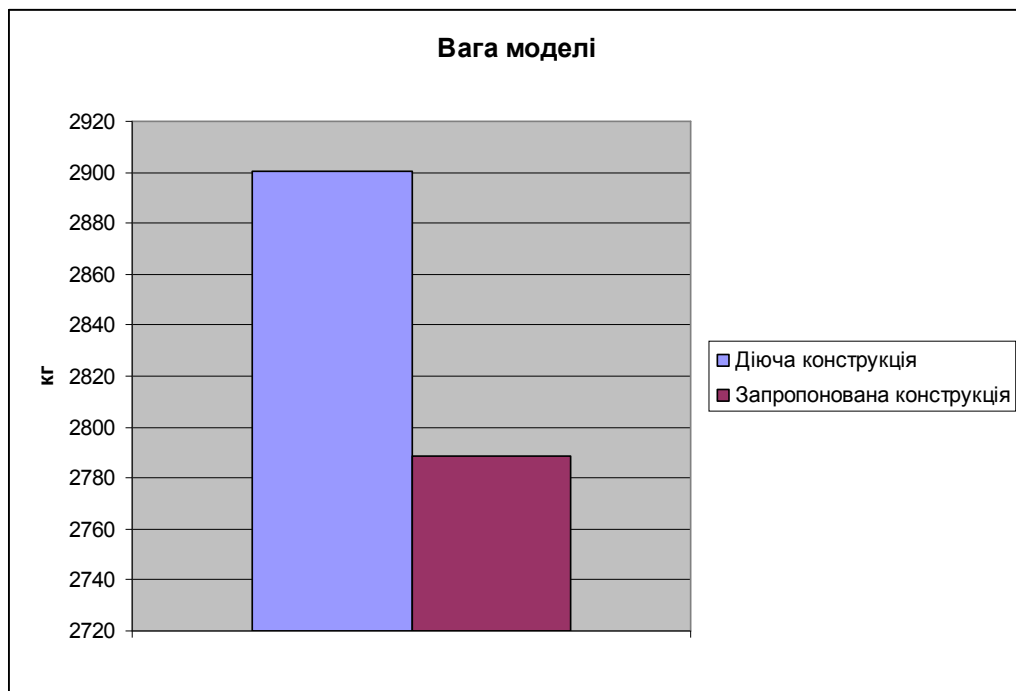


Рисунок 3.20 – Гістограма вага моделі.

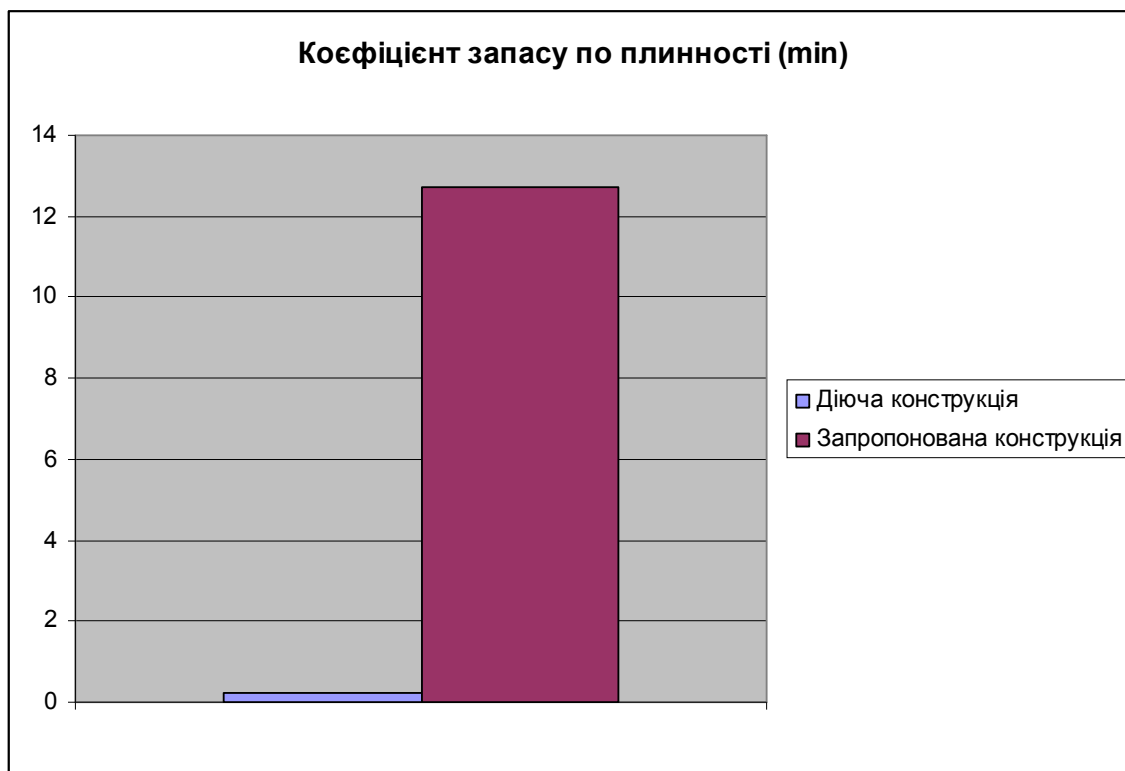


Рисунок 3.21 – Гістограма коефіцієнту запасу плинності.

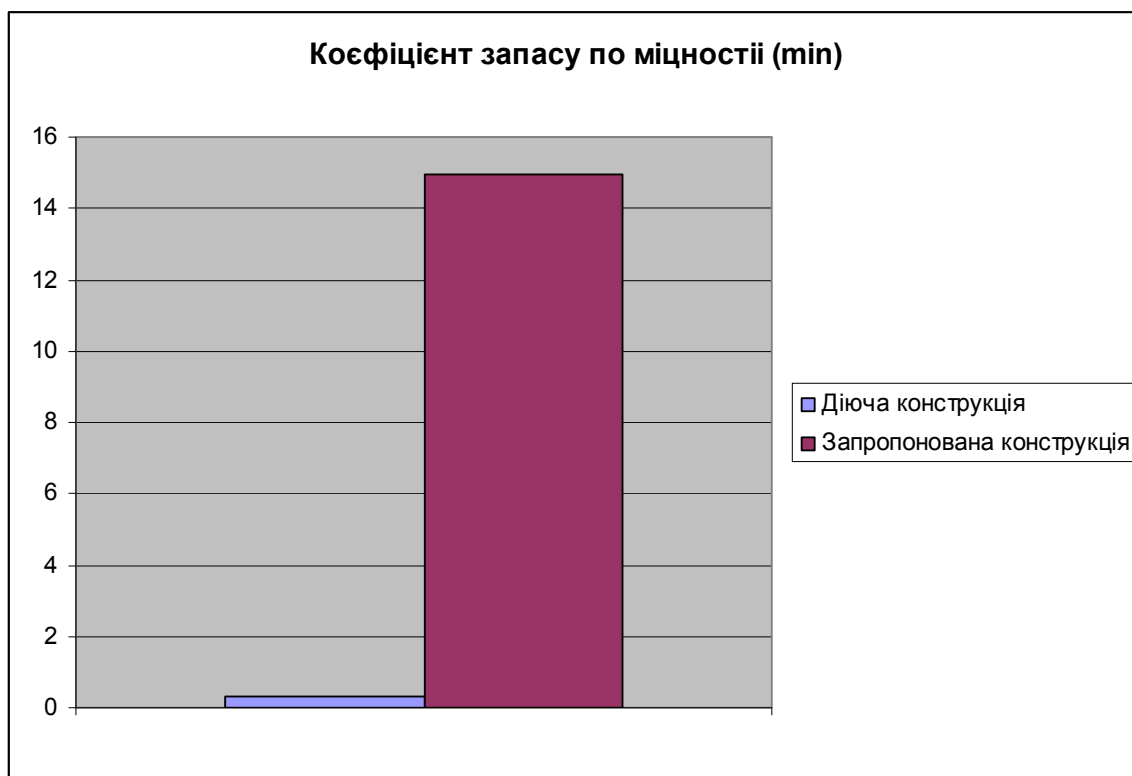
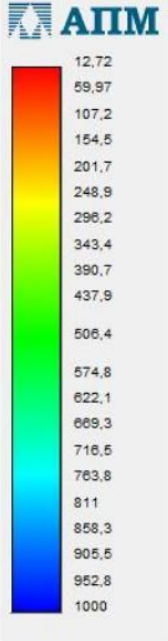
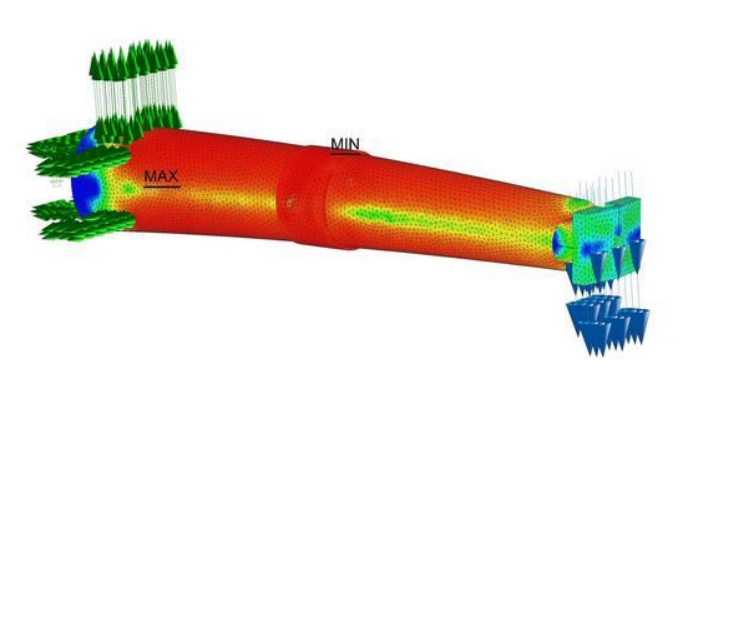
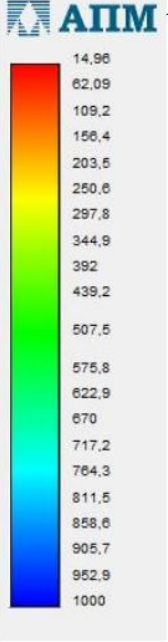
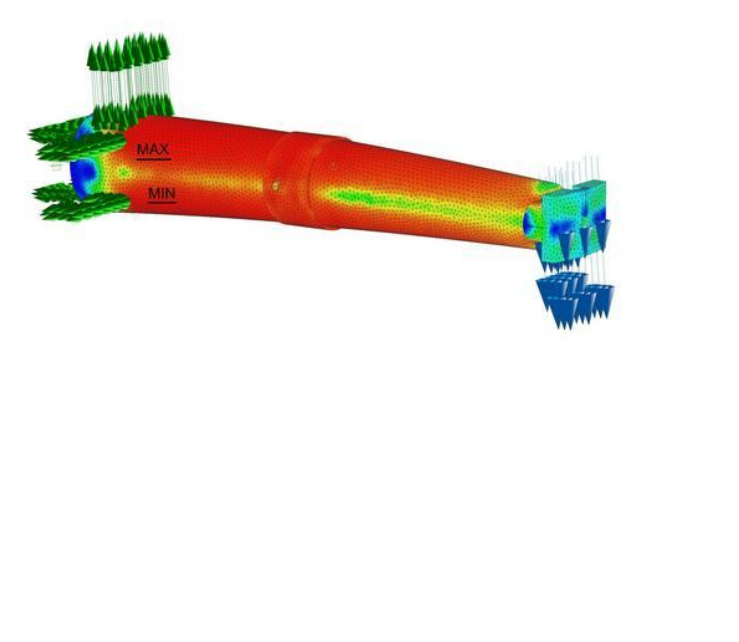


Рисунок 3.22 – Гістограма коефіцієнту запасу міцності.

Таблиця 3.18 Коефіцієнти запасу по плинності і міцності (результати розрахунку наведені на оригінальній мові програми).

Коефіцієнт запасу	Результати розрахунку															
Плинності	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Кoeffициент запаса по текучести</td> <td></td> <td>12,722692</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Кoeffициент запаса по текучести		12,722692	1000,		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12,722692</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table>	Минимальное значение	Максимальное значение	12,722692	1000,	
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение												
Кoeffициент запаса по текучести		12,722692	1000,													
Минимальное значение	Максимальное значение															
12,722692	1000,															
																
Міцності	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> <th>Тип</th> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Кoeffициент запаса по прочности</td> <td></td> <td>14,957642</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение	Кoeffициент запаса по прочности		14,957642	1000,		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Минимальное значение</th> <th>Максимальное значение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14,957642</td> <td>1000,</td> </tr> </tbody> </table>	Минимальное значение	Максимальное значение	14,957642	1000,	
	Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение												
Кoeffициент запаса по прочности		14,957642	1000,													
Минимальное значение	Максимальное значение															
14,957642	1000,															
																

Загальні висновки

1. Ознайомлення з технологією та обладнанням мартенівського цеху ВАТ МК «Запоріжсталь» показало, що одним із основних «вузьких місць» завалювальної машини напідлогового типу є виконуючий орган хобот.
2. Підвищити міцнісні властивості хобота можливо за рахунок зміни його конструкції або матеріалу з якого його виготовляють.
3. Використання у збірному хоботу для поєднання частин штифтів та захисного бандажа спрощує демонтаж конструкції.
4. За допомогою системи прочностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D провели експрес-розрахунок твердотільної моделі механізму обертання хобота, таким чином був візуалізований експеримент.
5. За результатами експерименту встановлено, що використання матеріалу сталь 35ХМЛ для цільної конструкції хобота є найбільш доцільним, так як при цьому матеріалі виникають менші еквівалентні напруження, та більші коефіцієнти міцності.
6. Розрахункова модель зі збірним хоботом мала менші еквівалентні напруження та більші коефіцієнти запасу міцності. Використання такої конструкції підвищить довговічність хобота.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією і обладнанням мартенівського цеху ВАТ “Запоріжсталь” показало, що одним з основних «вузьких» місць цеху є саме механізм обертання хобота мультозавалювальної машини.
2. Проведені розрахунки, двома методиками, необхідної потужності та числа обертів, підбрано електродвигун постійного струму Д-808. Проведені розрахунки на міцність найбільш навантаженої деталі - хобота.
3. Досліджено вплив матеріалу хобота на властивості міцності конструкції на основі яких вибрано найбільш раціональний матеріал. Досліджено вплив матеріалу та конструкції хобота на властивості міцності конструкції на основі яких вибрано найбільш раціональний матеріал та конструкцію хобота. Розроблені моделі конструкції хобота та проведені експериментальні дослідження за допомогою системи міцностного аналізу АРМ FEM для КОМПАС-3D.
4. Згідно розрахованій необхідній потужності вимогам до електроприводу в даному технологічному процесі перевірений двигун постійного струму Д-808
5. Проведено розрахунок середньомісячного заробітку одного робітника механослужби: для чергового персоналу; для ремонтного персоналу. Побудовано мережевий графік ремонту завалювальної машини.
6. Проведено розрахунки економічних показників за результатами яких зроблено наступні висновки: термін окупності до двох років; зменшено час поточного ремонту.
7. Для покращення умов праці машиніста завалювальної машини в розділі 7 розрахована ізоляція від випромінювання робочого місця.
8. Результати роботи можуть бути використані не тільки на ВАТ МК “Запоріжсталь”, але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

Список використаних джерел

1. Дипломне проектування. Методичні вказівки для студентів ЗДА всіх форм навчання за спеціальністю 7.090218 «Металургійне обладнання» / Укл.: Жук А.Я., Желябіна Н.К. – Запоріжжя, 2008. – 72с.
2. Целіков А. И. Машины та агрегати металургійних заводів. – М.: Металургія, 1988. – 432 с.
3. Детали машин в примерах и задачах. Ничипорчик С.Н., Корженцевский М.И., Калачев В.Ф. и др. – М.: Высшая школа, 1981 – 432с.
4. Иванов М.Н. Детали машин. – М.: Высшая школа, 1984 – 336с.
5. Погорелов С.В. Детали машин. Методические указания к курсовому проектированию. – Запорожье: Издательство ЗГИА, 2003 – 71с.
6. Иванченко Ф.К. Механическое оборудование сталеплавильных цехов. – М.: Металлургия, 1963. – 440 с.
7. Паспорт завалочной машины №1.- Справочные материалы мартеновского цеха. – 68 с.
8. Кузьмин А.В., Марон Ф.Я. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. – Минск: Высшая школа, 1983. – 350с.
9. Смазка металлургического оборудования. Гедык П.К., Калашников М.И. Издательство «Металлургия», 1971, 376с.
10. Притыкин Д.П. Надежность, ремонт и монтаж металлургического оборудования: Учеб. для вузов. – М.: Металлургия, 1985. – 368с.
11. Напрями творчого проектування та його техніко-економічне обґрунтування. Книга 2. Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. – К.: Кондор-Видавництво 2012. – 540 с.

12. Вініолі І.І. Механічне та транспортне обладнання сталеплавильних цехів.-Металлургиздат, 1961.-432с.

13. Організаційна та економічна частини дипломного проекту: Методичні вказівки до виконання дипломного проекту : Для студ. ЗДІА спец. 7.090218 "МО" / К. В. Таратута, О. М. Попов ; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2006. - 52 с.

14. Охорона праці та техногенна безпека: методичні вказівки до виконання розділу дипломних проектів (робіт) для студентів ЗДІА (спеціаліст) напрямку 6.050401 «Металургія» / В.Р. Румянцев, С.П. Панасенко, І.О. Ткаліч. – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 44с.

15. Батлук В. А., Гогіташвілі Г. Г. Охорона праці у будівельній галузі: Навч. посіб. — К.: Знання, 2006.— 550 с.

16. Бранзе В.Н., Зеньковський М.М. Охрана труда в черной металлургии. - М.:Металлургия, 1982.

17. Федоренко, В.І. Спеціальні крани: навч. посібник. У 2 ч. Ч.1. Мостобразні спеціальні крани / В.І. Федоренко, В.П. Дунаєв.- БГТУ, 2008.- 183 с

18. Бутигін В.Б., Євтушенко А.Т., Огневой В.Я. Матеріалознавство: Навчальний посібник. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2002. - 354 с.