



МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра механічної та біомедичної інженерії

С.В. Онищенко, Ю.С. Слупська, Т.О. Чечель

**МОДЕЛЮВАННЯ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ, ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЙОГО МАТЕРІАЛУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ У AUTODESK INVENTOR**

**Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт
з дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг у матеріалознавстві»
для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство»**

Дніпро
НТУ «ДП»
2023

Онищенко С.В., Слупська Ю.С., Чечель Т.О.

Моделювання біотехнічного виробу, властивостей його матеріалу та дослідження у Autodesk Inventor. Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг у матеріалознавстві» для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство» [Електронний ресурс] / С.В. Онищенко, Ю.С. Слупська ; Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – 39 с.

Автори

Онищенко Сергій Валерійович, к.т.н., доц. каф. МБМІ
Слупська Юлія Сергіївна, Ph.D., доц. каф. МБМІ
Чечель Тарас Олегович, асист. каф. МБМІ

Розглянуто теми лабораторних робіт «Побудова тривимірної моделі біотехнічного виробу у Autodesk Inventor», «Побудова сітки скінчених елементів біотехнічного виробу у Autodesk Inventor», «Задання граничних умов для дослідження моделі біотехнічного виробу у Autodesk Inventor», «Моделювання властивостей матеріалу моделі біотехнічного виробу для дослідження у Autodesk Inventor» та «Дослідження параметрів міцності, жорсткості та надійності та аналіз результатів у Autodesk Inventor» дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг у матеріалознавстві» для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство».

Відповідальний за випуск заступник завідувача кафедри механічної та біомедичної інженерії С.В. Онищенко, к.т.н.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ ...	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. «ПОБУДОВА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ У AUTODESK INVENTOR»	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. «ПОБУДОВА СІТКИ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ У AUTODESK INVENTOR»	11
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. «ЗАДАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ У AUTODESK INVENTOR»	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. «МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ МОДЕЛІ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ У AUTODESK INVENTOR»	15
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. «ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МЦНОСТІ, ЖОРСТКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ У AUTODESK INVENTOR»	18
ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ	30
Рекомендована література	38

ВСТУП

«Комп'ютерний інжиніринг в матеріалознавстві» є однією із інженерних дисциплін, яка знайомить здобувачів з інструментами та методами комп'ютерного інжинірингу для розв'язання матеріалознавчих задач.

Метою обов'язкової дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг в матеріалознавстві» формування у здобувачів вищої освіти компетентностей щодо застосування необхідного математично-розрахункового апарату для розв'язання та аналізу прикладних задач у галузі матеріалознавства із залученням комп'ютерних технологій. Оволодіння методами математичної статистики та їх використання у розв'язуванні прикладних технічних задач, що регламентовані освітньо-професійною програмою «Біотехнічне та медичне матеріалознавство» за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Мета методичних рекомендацій – засвоєння теоретичних знань та практичних навичок щодо побудови тривимірної моделі біотехнічного виробу, побудови сітки скінчених елементів, задання граничних умов для дослідження моделі біотехнічного виробу, моделювання властивостей матеріалу моделі біотехнічного виробу, і дослідження параметрів міцності, жорсткості та надійності та аналіз результатів у Autodesk Inventor.

ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

ПРН3.1-С7. Володіти інструментами сучасних пакетів тривимірного проектування та математичної статистики для досягнення результатів професійної діяльності.

ПРН19.2-С7. Володіти методикою проведення комп'ютерного експерименту з моделювання напруженого стану виробів біотехнічного та медичного призначення, аналізувати та інтерпретувати результати.

ПРН32.1-С7. Створювати тривимірні моделі елементів та систем біотехнічного та медичного призначення з використанням сучасних засобів автоматизованого проектування.

ПРН33.4-С7. Застосовувати методи та принципи системного інжинірингу матеріалів і виробів біотехнічного та медичного призначення.

ПРН33.5-С7. Планувати та реалізовувати комп'ютерні експерименти з матеріалами та виробами біотехнічного та медичного призначення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. «ПОБУДОВА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ У AUTODESK INVENTOR»

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Мета роботи – ознайомлення з інструментами сучасних пакетів тривимірного проектування на прикладах створення тривимірних моделей біотехнічних виробів, оволодіння методикою планування першого етапу комп'ютерного експерименту з матеріалами та виробами біотехнічного та медичного призначення, спираючись на принципи системного інжинірингу матеріалів і виробів.

Побудуємо тривимірну модель для дослідження напружено-деформованого стану (НДС) та параметрів міцності та жорсткості стопи Restore від ОТТОВОСК представлена на рисунку 1.

Для побудови та дослідження тривимірної моделі методом скінчених елементів було використано апробований програмний продукт Autodesk Inventor та його вбудований пакет інструментів «Аналіз напружень».

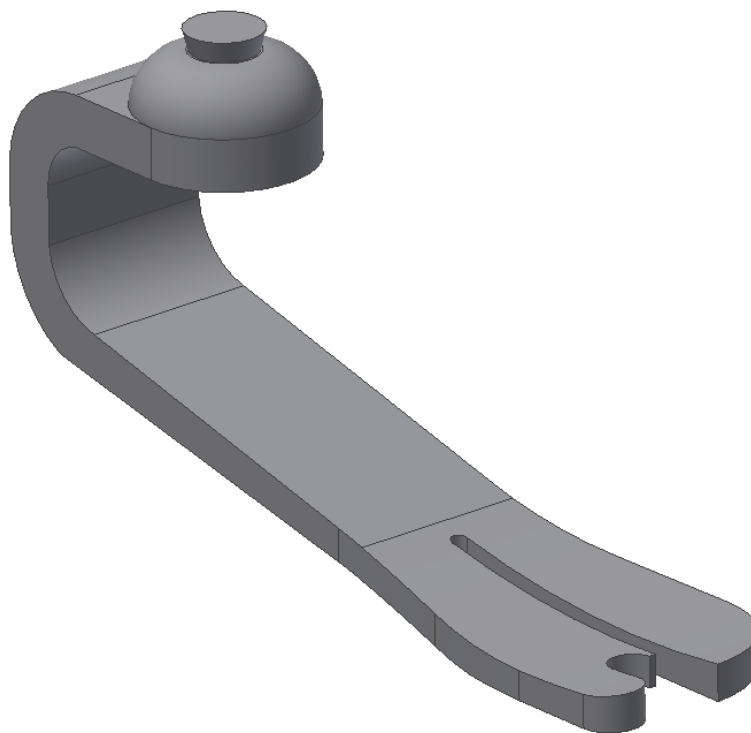


Рисунок 1 – Тривимірна модель штучної стопи Restore від ОТТОВОСК

Модель було побудовано за таким алгоритмом з використанням інструментів твердотільного моделювання Autodesk Inventor

1. Побудовано ескіз профіля моделі (рис. 2). Як видно із рисунка, товщина стопи плавно змінюється від 14,5 мм згори до 9 мм в точці контакту із землею.

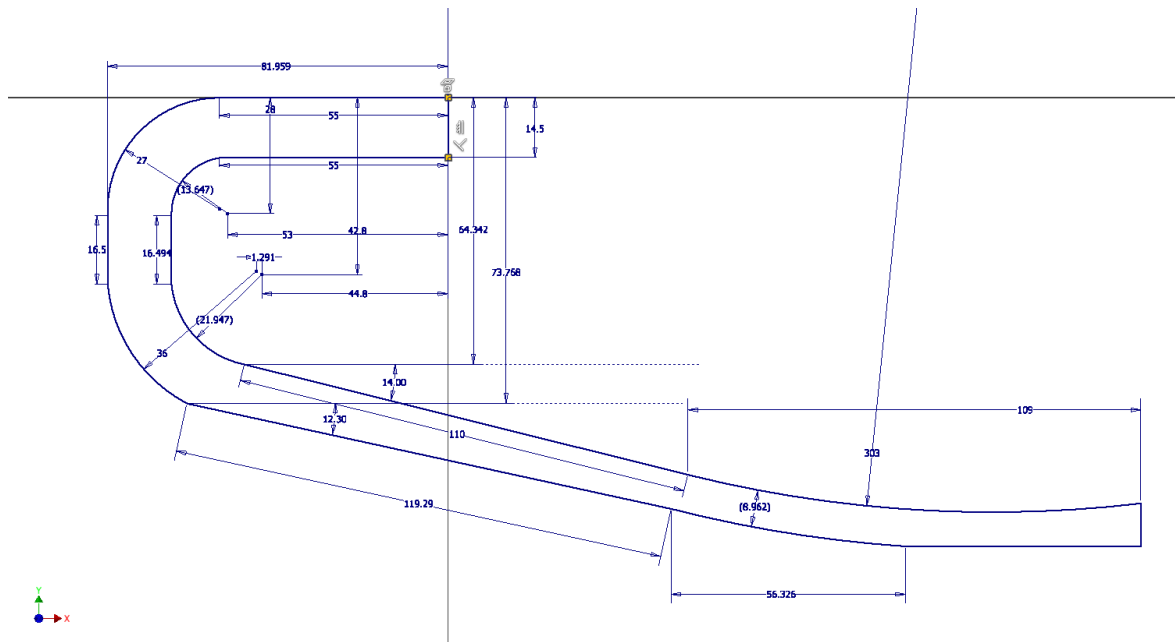


Рисунок 2 – Ескіз профіля моделі стопи Restore від ОТТОВОСК

2. Виконано «Видавлювання» ескіза для набуття заготовки просторової форми (рис. 3). Видавлювання – в напрямку перпендикулярно площині ескіза симетрично на 70 мм загалом

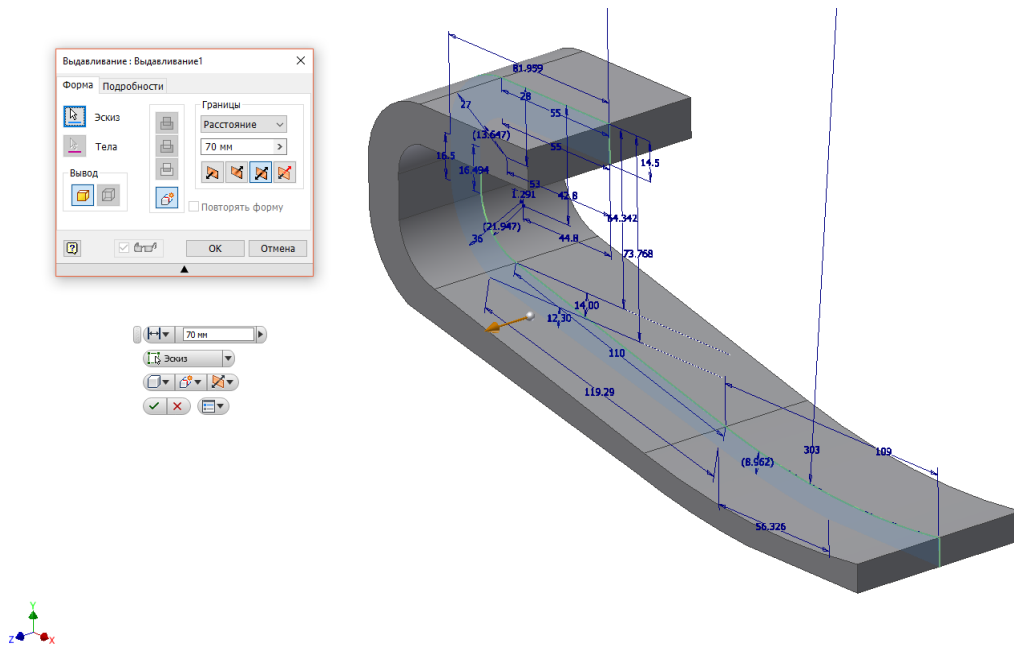


Рисунок 3 - «Выдавлювання» ескіза

3. Далі тілу моделі було надано потрібної форми на виді згори. Побудовано ескіз (рис. 4).

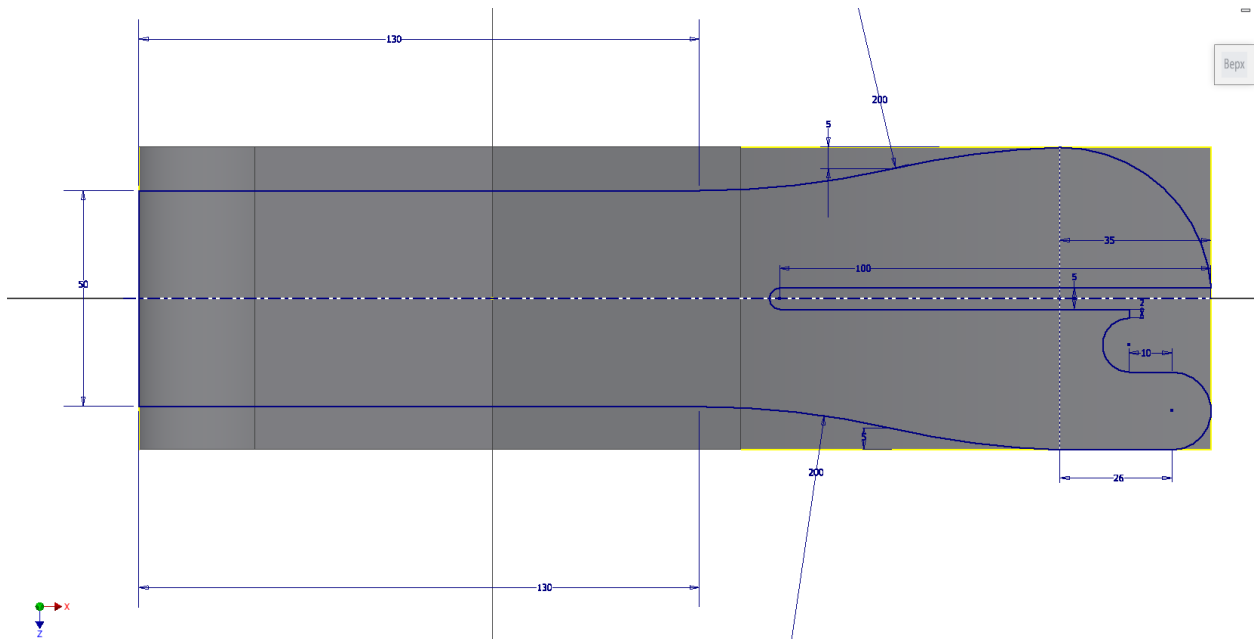


Рисунок 4 – Ескіз для надання необхідної форми на виді згори

Виконано «Выдавлювання з відніманням по перетинах» (рис. 5), що дозволяє прибрати все зайве.

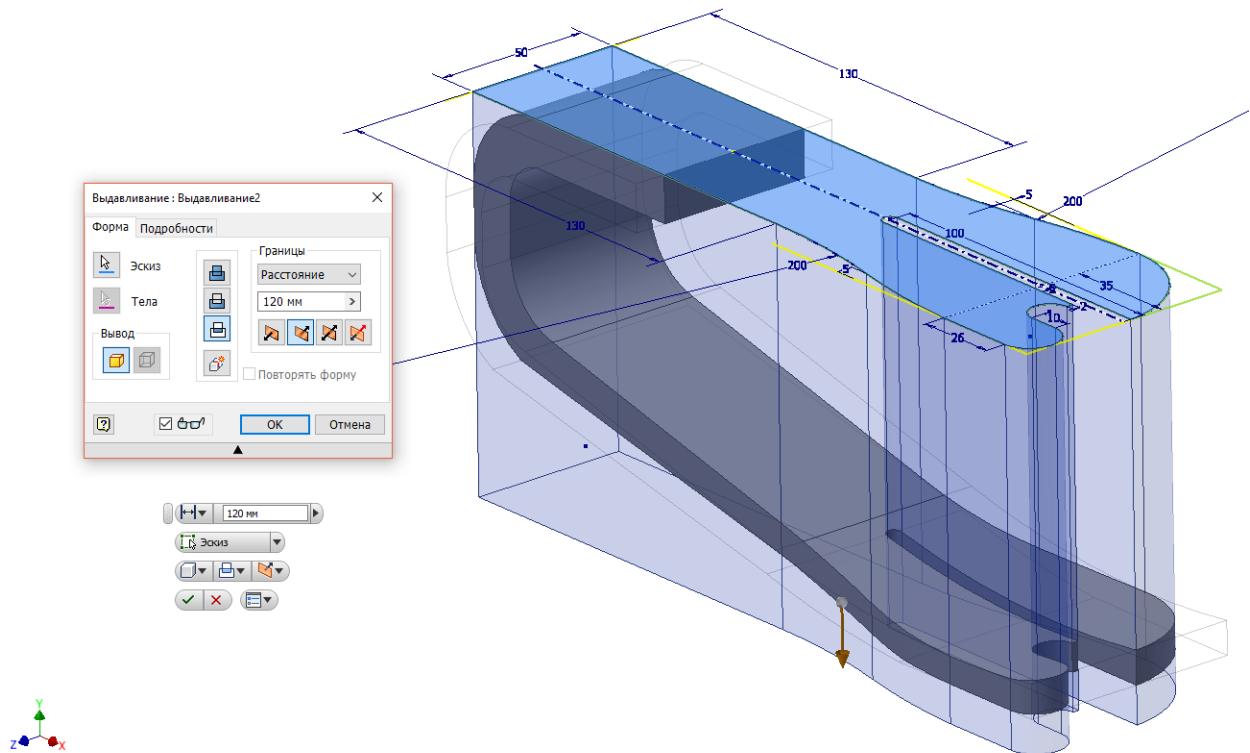


Рисунок 5 – «Выдавливания з відніманням по перетинах»

4. Виконано скруглення граней верхньої площадки (рис. 5), на якій розташовується кріплення-пірамідка до пілона.

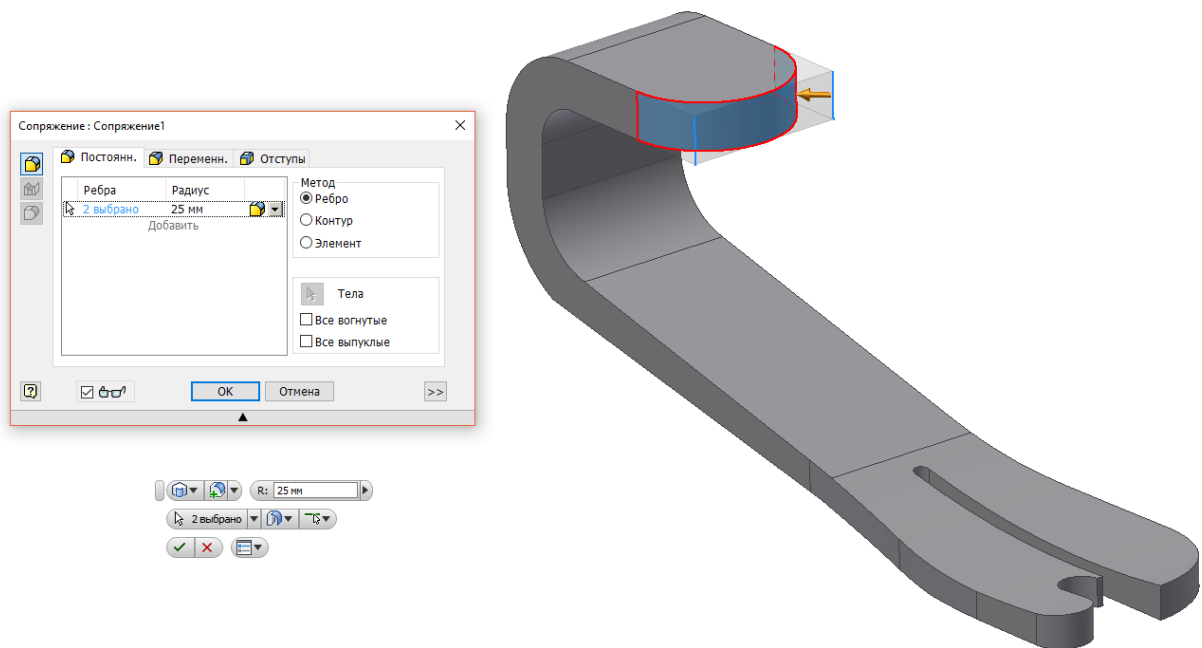


Рисунок 6 – Скругления граней верхньої площадки

5. В останню чергу створюємо ескіз для кріплення-пірамідки (рис. 7) та за допомогою інструмента «Обертання» додаємо саме кріплення (рис. 8).

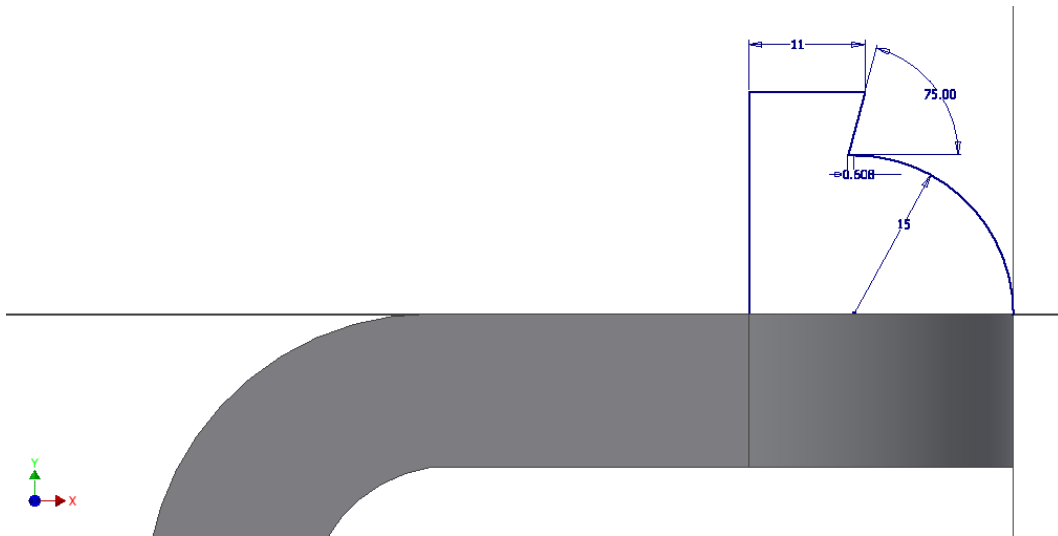


Рисунок 7 – Ескіз для створення кріплення-пірамідки

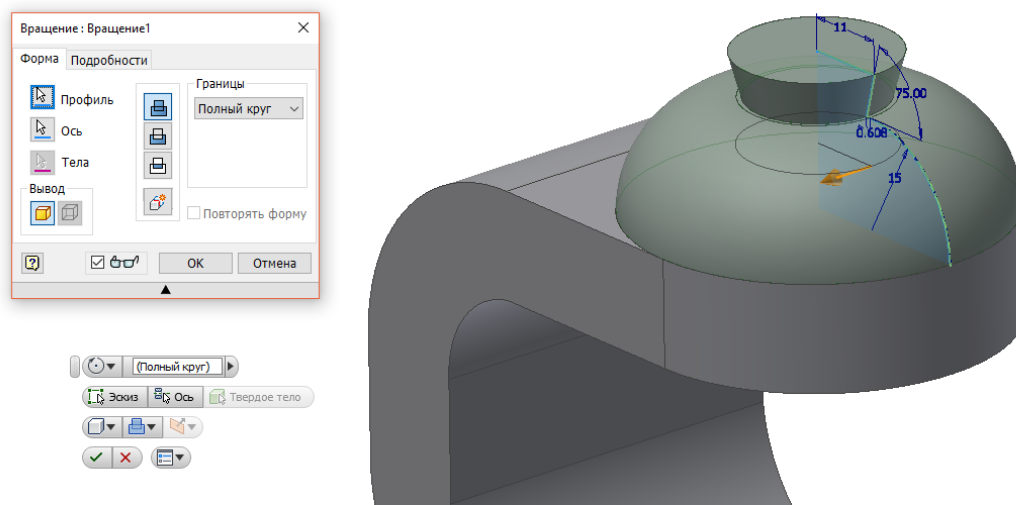


Рисунок 8 – Створення кріплення-пірамідки інструментом «Обертання»

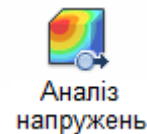
Модель стопи може мати деякі зміни в порівнянні з оригіналом задля спрощення побудови скінчено-елементної сітки та проведення розрахунків.

Розроблено тривимірну розрахункову параметричну модель стопи на основі Restore від ОТТОВОСК.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. «ПОБУДОВА СІТКИ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ У AUTODESK INVENTOR»

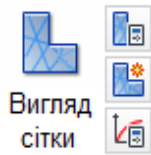
↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Мета роботи - ознайомлення з інструментами побудови сітки скінчених елементів у пакетах тривимірного проектування на прикладах тривимірних моделей біотехнічних виробів, оволодіння методикою планування другого етапу комп'ютерного експерименту з матеріалами та виробами біотехнічного та медичного призначення, спираючись на принципи системного інжинірингу матеріалів і виробів.



Скористаємось інструментом «Аналіз напружень»

Побудуємо сітку скінчених елементів за допомогою інструмента



«Вигляд сітки», який має кнопки «Налаштування сітки», «Елемент керування локальною сіткою» та «Налаштування сходимості».

Скінчено-елементну сітку (рис. 9) було побудовано інструментом «сітка» в пакеті «аналіз напружень» Autodesk Inventor. Розмір скінчених елементів (дрібне значення від діаметра моделі) дорівнює 0,05, мінімальний розмір елемента (дрібне значення від середнього розміру) дорівнює 0,02. Також використовувався інструмент «управління локальною сіткою» для подрібнення сітки в зонах скруглень.

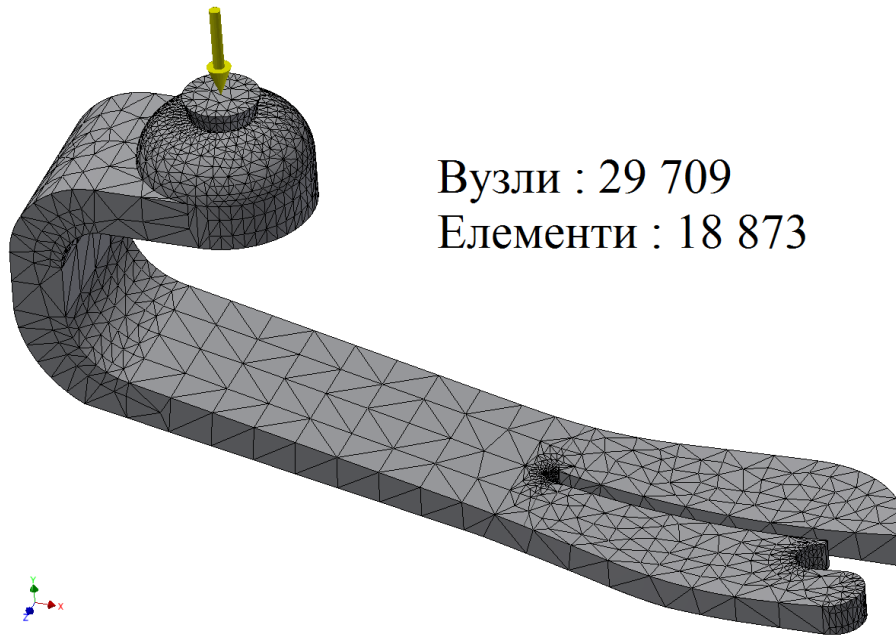


Рисунок 9 - Скінчено-елементна сітка стопи Restore від ОТТОВОСК

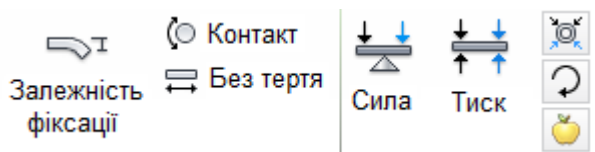
Побудовано сітку скінчених елементів інструментом «сітка» в пакеті «аналіз напружень» Autodesk Inventor.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. «ЗАДАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ У AUTODESK INVENTOR»

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Мета роботи - ознайомлення з інструментами задання граничних умов для моделей у сучасних пакетах тривимірного проектування на прикладах тривимірних моделей біотехнічних виробів, опанування концепції діапазону зміни граничних умов, оволодіння методикою планування третього етапу комп'ютерного експерименту з матеріалами та виробами біотехнічного та медичного призначення, спираючись на принципи системного інжинірингу матеріалів і виробів.

Задамо граничні умови для дослідження моделі стопи протеза за допомогою інструментів «Залежності» та «Сила»



Експлуатаційні навантаження та граничні умови для моделювання напружено-деформованого стану стопи Restore від ОТТОВОСК задавались наступним чином

- фіксація поверхні контакту з ґрунтом (рис. 10);
- діапазон заданих граничних умов - зовнішнє корисне навантаження задається силою 500 Н, 750 Н, 1000 Н, 1250 Н, яка є вагою користувача протеза, на верхню круглу поверхню кріплення-пірамідки (рис. 11).

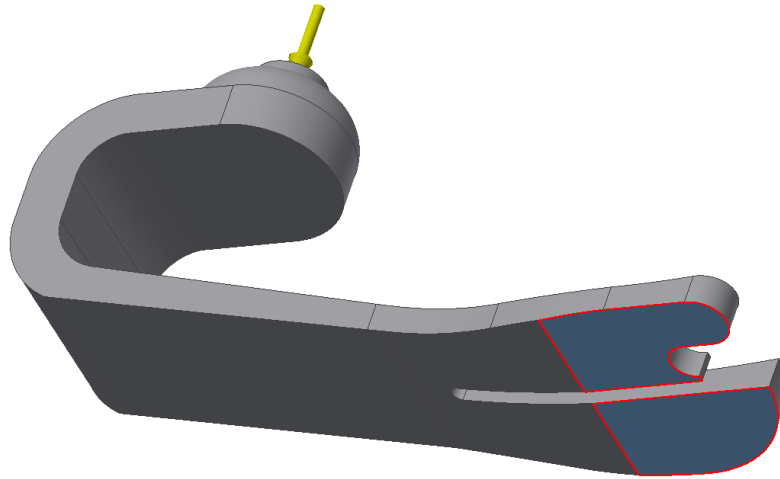


Рисунок 10 – Граничні умови фіксації

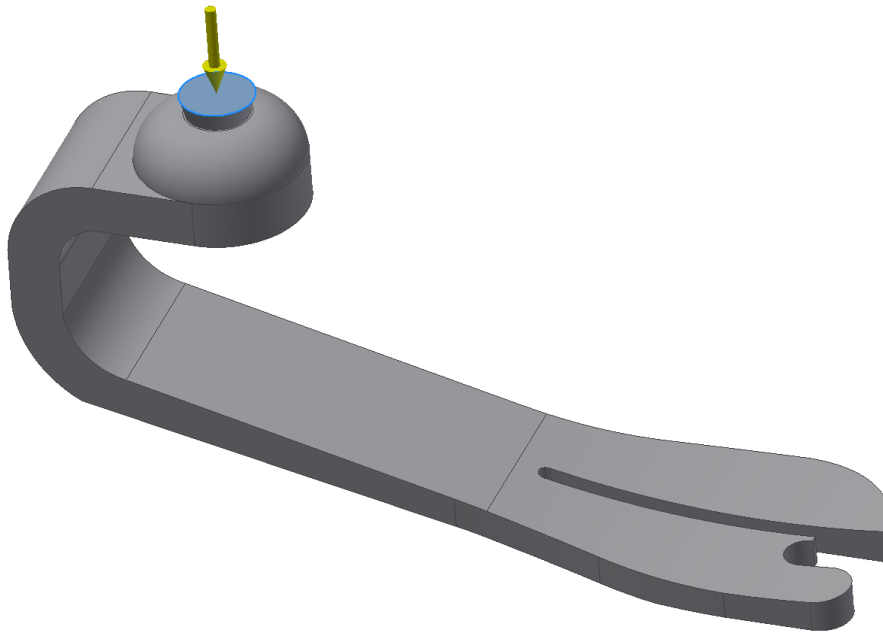


Рисунок 11 – Задання експлуатаційних навантажень

Задано граничні умови для моделі та діапазон зміни експлуатаційних навантажень моделі, а також перелік матеріалів моделі для дослідження

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. «МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ МОДЕЛІ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ У AUTODESK INVENTOR»

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

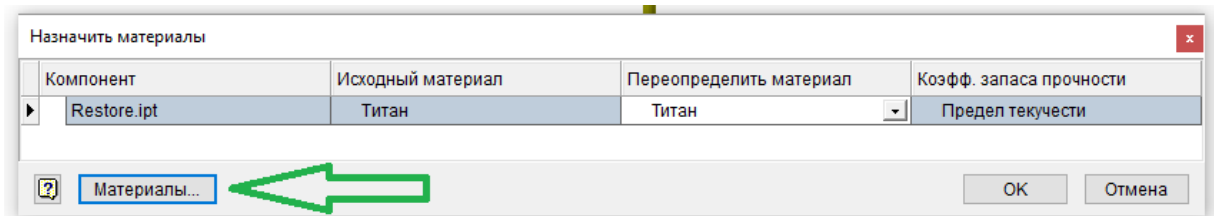
Мета роботи - ознайомлення з інструментами задання та управління властивостями матеріалів моделей у пакеті тривимірного проектування на прикладі тривимірних моделей біотехнічних виробів, оволодіння методикою планування третього етапу комп'ютерного експерименту з матеріалами та виробами біотехнічного та медичного призначення, спираючись на принципи системного інжинірингу матеріалів і виробів.

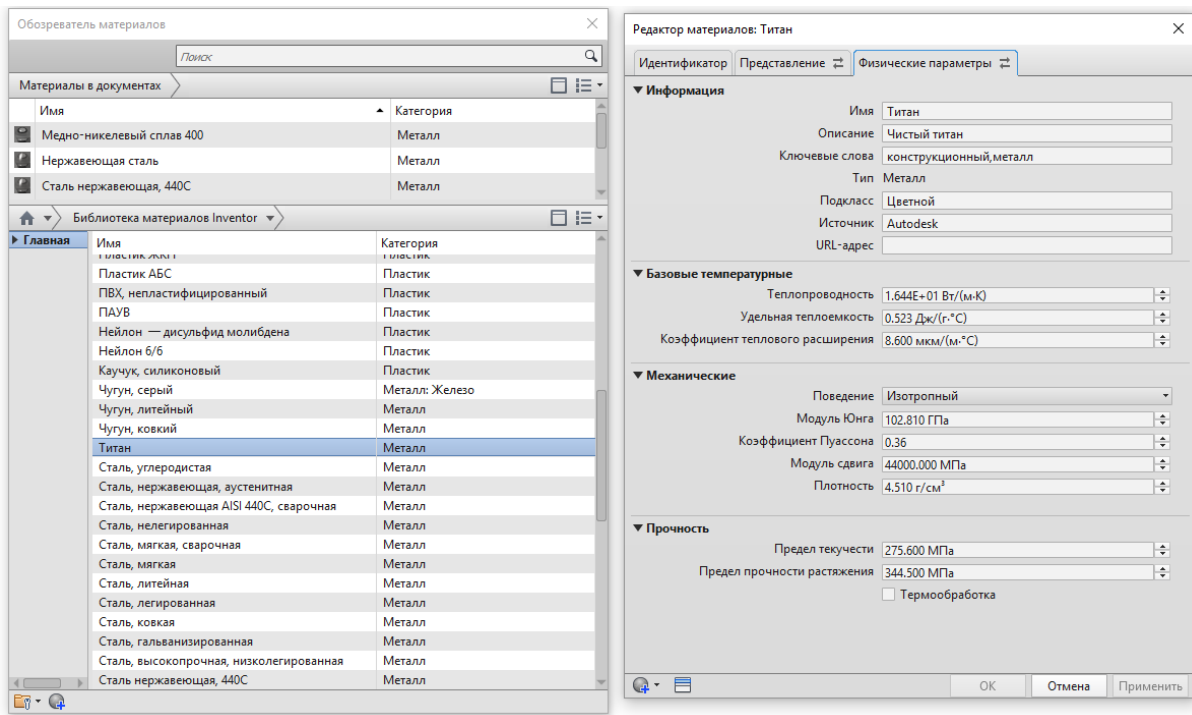
Налаштуємо та промодуємо властивості матеріалу за допомогою

інструменту «Призначити матеріал» .



Призначити
матеріал





У даному вікні можливо побачити та налаштувати властивості матеріалу для досліджень чи створити новий матеріал із необхідними властивостями.

В ході досліджень розглядався розподіл еквівалентних напружень за Мізесом, переміщень та запасу міцності у моделі протеза стопи Restore від OTTOBOSK за допомогою інструмента «аналіз напружень» в Autodesk Inventor.

Використовували наступний масив даних (табл. 2). Також, на епюрах напружень межа напружень прийнята 200 МПа (червоним кольором), межа переміщень – 2,5 мм (червоним кольором). Мінімальний коефіцієнт запасу міцності розраховується як співвідношення границі текучості до максимальних еквівалентних напружень за Мізесом.

Таблиця 2 - Масив даних для моделювання

Товщина леза, t , мм	9-14,5			
Ширина леза, b , мм	50-70			
Корисне навантаження, P , Н	500	750	1000	1250
Матеріал 1	сталь вуглецева			

Матеріал 2	сталь неіржавна
Матеріал 3	титан

Наведено перелік та промодельовано властивості матеріалів моделі для дослідження.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. «ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІЦНОСТІ, ЖОРСТКОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ У AUTODESK INVENTOR»

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Мета роботи - ознайомлення з інструментами проведення комп'ютерного експерименту, аналізу та інтерпретації результатів у пакеті тривимірного проектування на прикладі тривимірних моделей біотехнічних виробів, формулювання висновків експерименту, опрацювання параметрів міцності, жорсткості та надійності моделей біотехнічних виробів, оволодіння методикою планування четвертого етапу комп'ютерного експерименту з матеріалами та виробами біотехнічного та медичного призначення, спираючись на принципи системного інжинірингу матеріалів і виробів.

В ході досліджень розглядався розподіл еквівалентних напружень за Мізесом, переміщень та запасу міцності у моделі протеза стопи Restore від OTTOBOSK за допомогою інструмента «аналіз напружень» в



Autodesk Inventor та команди «Моделювати» **Моделювати**.

Використовували наступний масив даних (табл. 2). Також, на епюрах напружень межа напружень прийнята 200 МПа (червоним кольором), межа переміщень – 2,5 мм (червоним кольором). Мінімальний коефіцієнт запасу міцності розраховується як співвідношення границі текучості до максимальних еквівалентних напружень за Мізесом.

Таблиця 2 - Масив даних для моделювання

Товщина леза, t , мм	9-14,5			
Ширина леза, b , мм	50-70			
Корисне навантаження, P , Н	500	750	1000	1250
Матеріал 1	сталь вуглецева			

Матеріал 2	сталь неіржавна
Матеріал 3	титан

Дослідження тривимірної моделі протеза стопи із вуглецевої сталі

В ході чисельного експерименту досліджувався напружено-деформований стан протеза стопи Restore від ОТТОВОСК із вуглецевої сталі, корисне навантаження P змінювалось з 500 Н до 1250 Н з кроком 250 Н. Маса моделі, розрахована засобами Inventor, дорівнює 1,838 кг. На рисунку 12 зображено розподіл напружень у моделі протеза стопи за змінного корисного навантаження P .

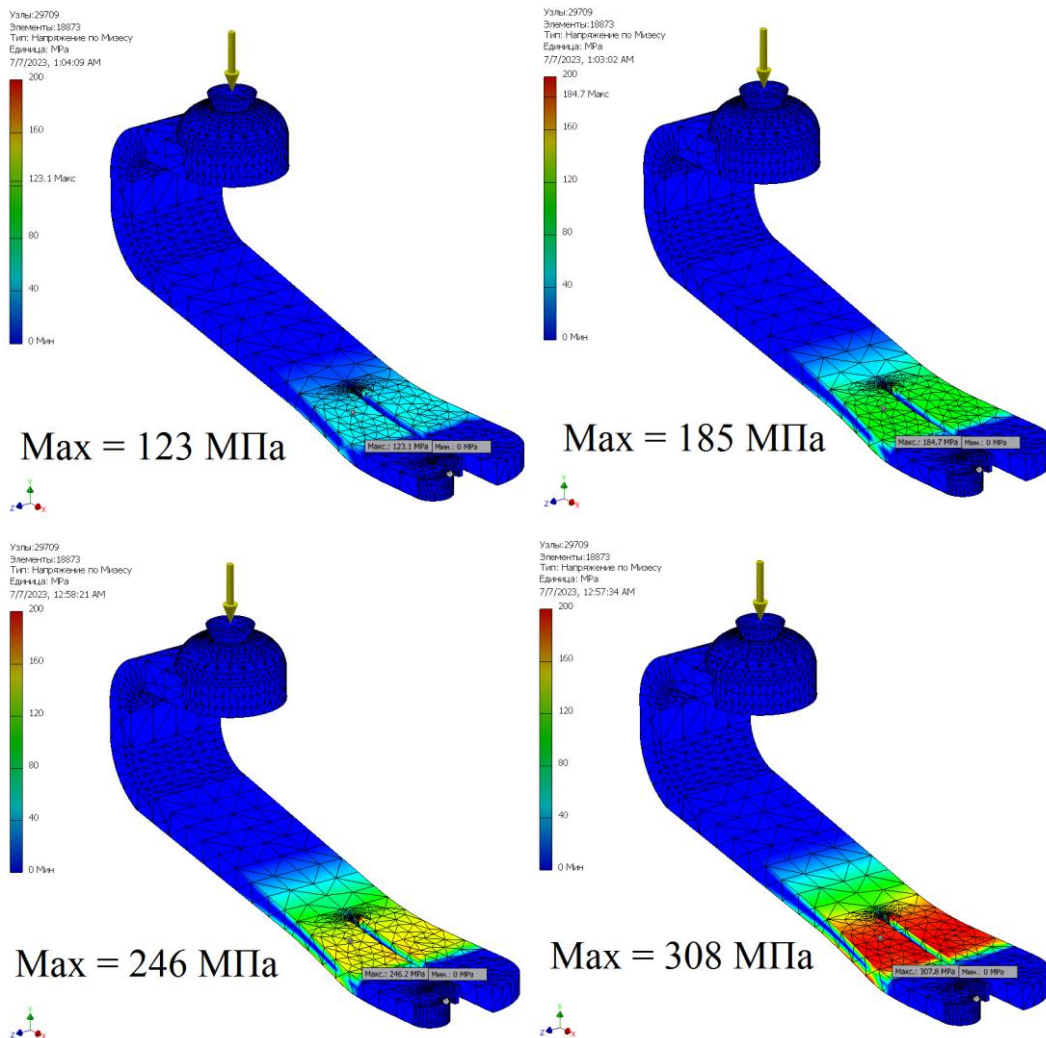


Рисунок 12 – Розподіл напружень у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за змінної P

На рисунку 13 зображено розподіл переміщень у конструкції за змінного корисного навантаження P .

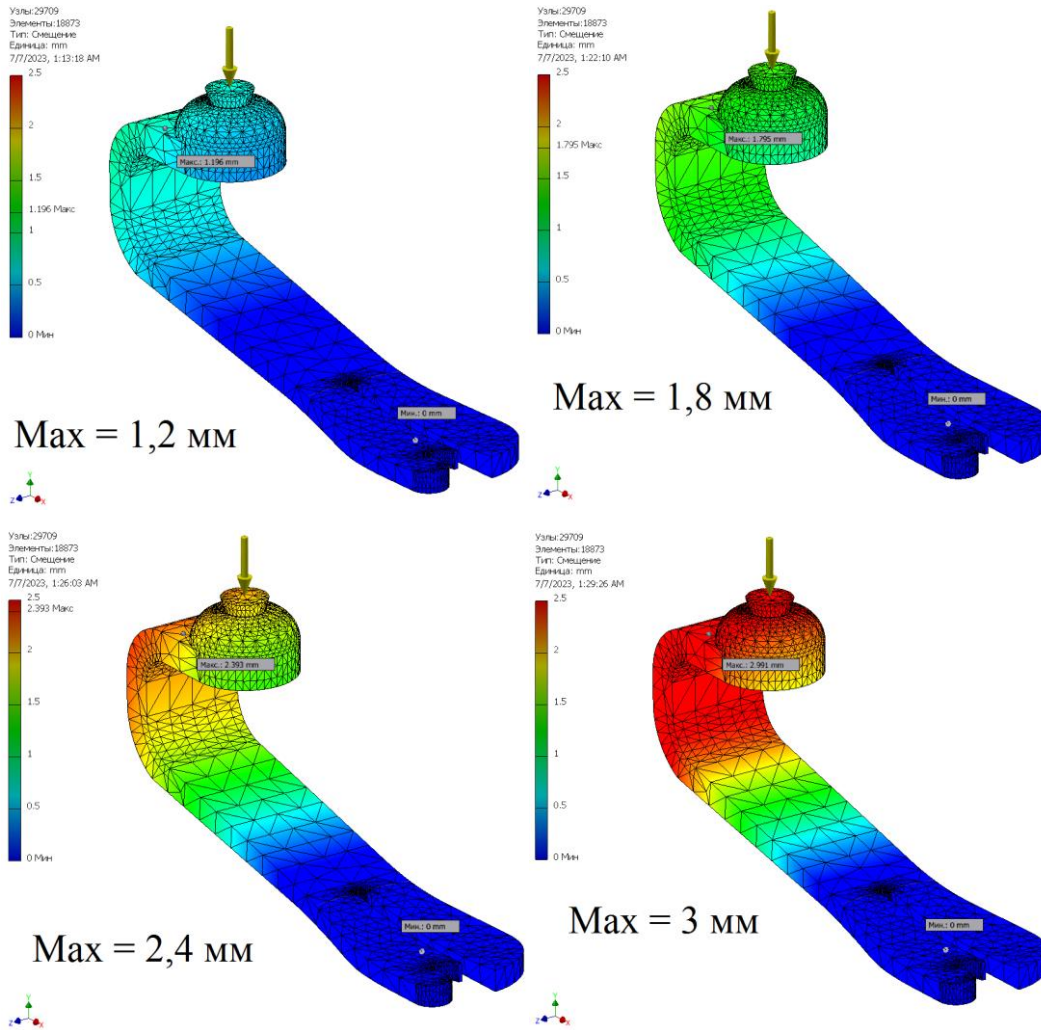


Рисунок 13 – Розподіл переміщень у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за змінної P

На рисунку 14 зображено розподіл коефіцієнтів запасу міцності у конструкції за змінного корисного навантаження P .

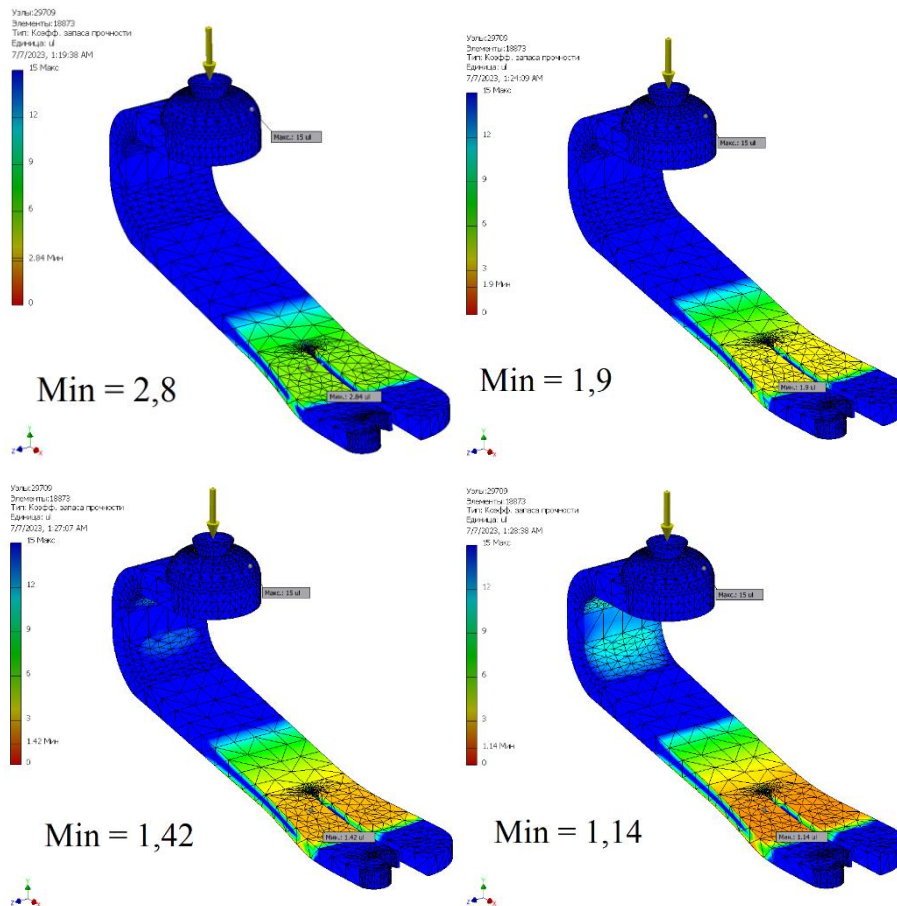


Рисунок 14 – Розподіл коефіцієнтів запасу міцності у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за змінної P

Повні результати досліджень моделі протеза стопи із вуглецевої сталі наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 - Результати досліджень моделі протеза стопи із вуглецевої сталі

P , Н	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , ММ	$n_{\min} = \sigma_m / \sigma_{\max}$
500	123.116	1.19	2.84
750	184.675	1.79	1.89
1000	246.233	2.39	1.42
1250	307.791	2.99	1.14

Дослідження тривимірної моделі протеза стопи із неіржавної сталі

В ході чисельного експерименту досліджувався напружено-деформований стан протеза стопи Restore від ОТТОВОСК із неіржавної

сталі, корисне навантаження P змінювалось з 500 Н до 1250 Н з кроком 250 Н. Маса моделі, розрахована засобами Inventor, дорівнює 1,873 кг.

На рисунку 15 зображено розподіл напружень у моделі протеза стопи, на рисунку 16 – розподіл переміщень у конструкції, на рисунку 17 – розподіл коефіцієнтів запасу міцності у конструкції за корисного навантаження $P = 1250$ Н.

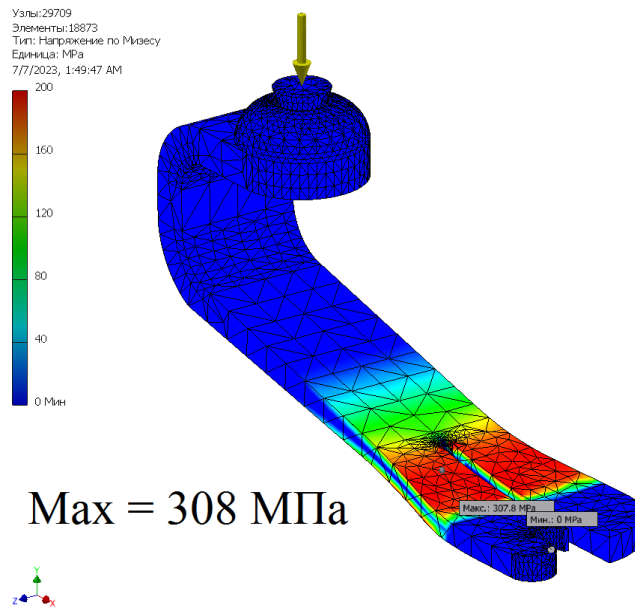


Рисунок 15 – Розподіл напружень у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за $P = 1250$ Н

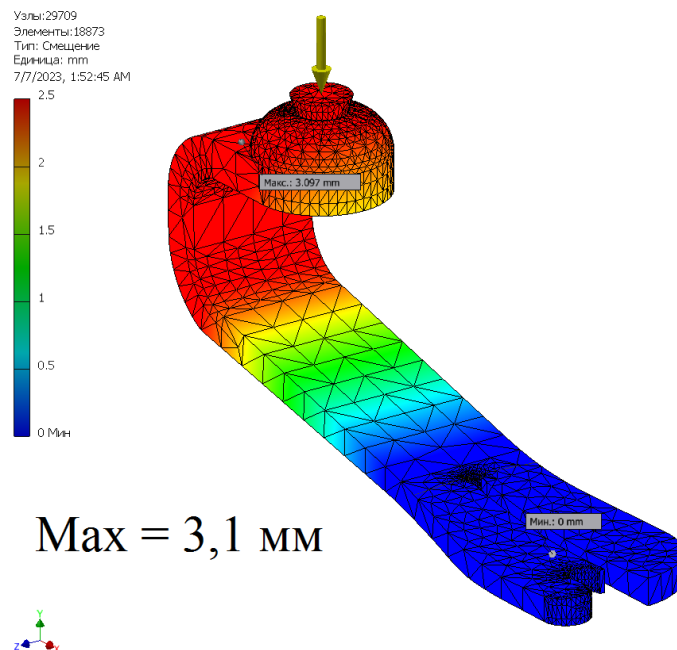
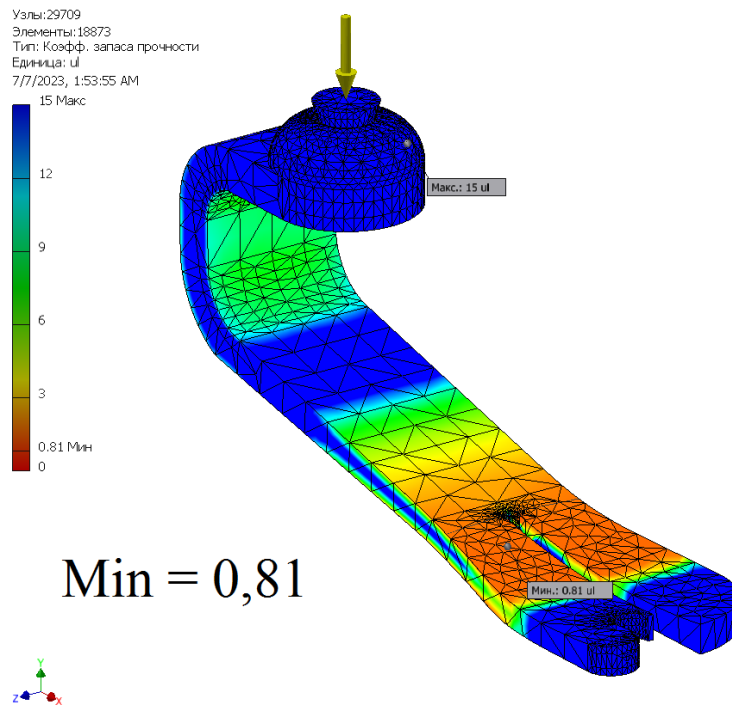


Рисунок 16 – Розподіл переміщень у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за $P = 1250$ Н

Характер цих розподілів залишається подібним і для інших значень корисного навантаження, повні результати досліджень наведені у таблиці 4.



Min = 0,81

Рисунок 17 – Розподіл коефіцієнтів запасу міцності у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за $P = 1250$ Н

Таблиця 4 - Результати досліджень моделі протеза стопи із неіржавної сталі

P , Н	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , ММ	$n_{\min} = \sigma_m / \sigma_{\max}$
500	123.108	1.24	2.03
750	184.662	1.86	1.35
1000	246.216	2.47	1.01
1250	307.77	3.1	0.81

Дослідження тривимірної моделі протеза стопи із титана

В ході чисельного експерименту досліджувався напружено-деформований стан протеза стопи Restore від ОТТОВОСК із титана, корисне навантаження P змінювалось з 500 Н до 1250 Н з кроком 250 Н. Маса моделі, розрахована засобами Inventor, дорівнює 1,056 кг.

На рисунку 18 зображено розподіл напружень у моделі протеза стопи, на рисунку 19 – розподіл переміщень у конструкції, на рисунку 20 – розподіл коефіцієнтів запасу міцності у конструкції за корисного навантаження $P = 1250$ Н.

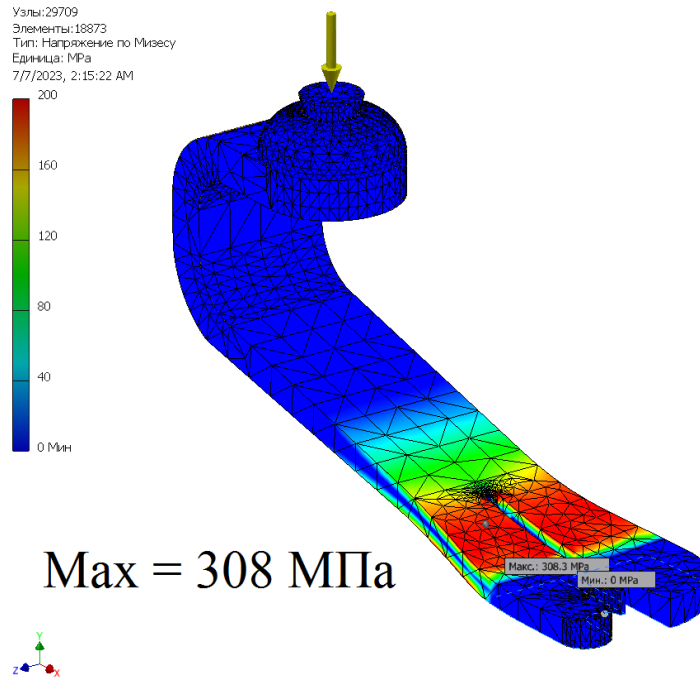


Рисунок 18 – Розподіл напружень у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за $P = 1250$ Н

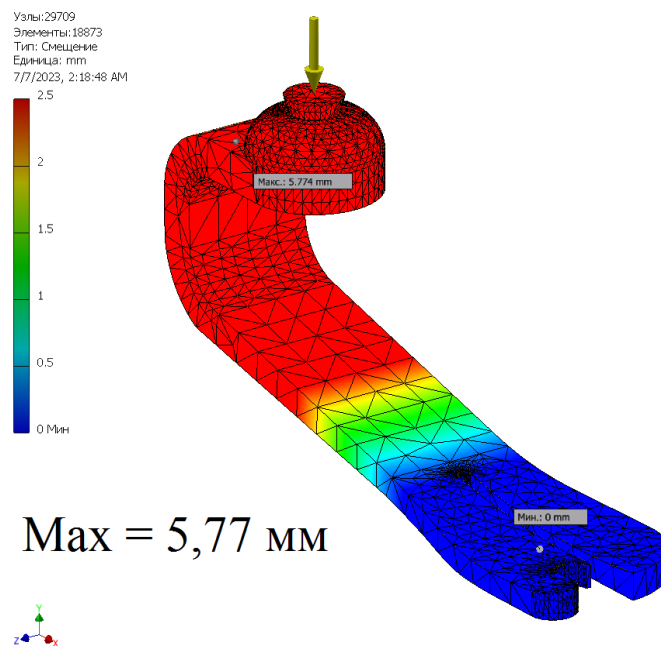


Рисунок 19 – Розподіл переміщень у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за $P = 1250$ Н

Характер цих розподілів залишається подібним і для інших значень корисного навантаження, повні результати досліджень наведені у таблиці 5.

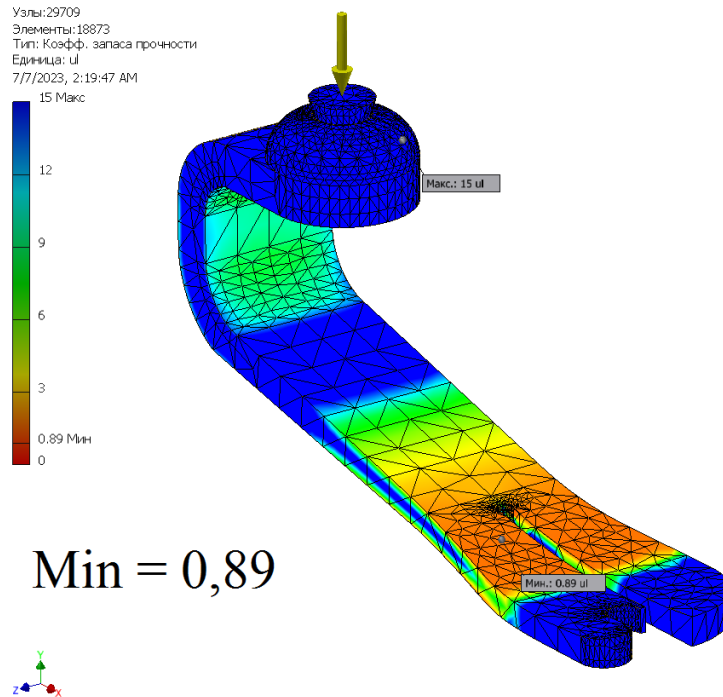


Рисунок 20 – Розподіл коефіцієнтів запасу міцності у моделі протеза стопи Restore від ОТТОВОСК за $P = 1250$ Н

Таблица 5 - Результаты досліджень моделі протеза стопи із титана

P , Н	σ_{\max} , МПа	u_{\max} , ММ	$n_{\min} = \sigma_m / \sigma_{\max}$
500	123.305	2.31	2.24
750	184.957	3.46	1.49
1000	246.609	4.62	1.12
1250	308.262	5.77	0.89

Аналіз міцності та жорсткості тривимірної моделі стопи

Побудуємо графіки зміни максимальних еквівалентних напружень σ_{\max} , МПа (рис. 21), максимальних переміщень u_{\max} , ММ (рис. 22) та мінімальних коефіцієнтів запасу міцності n_{\min} (рис. 23) в залежності від корисного зовнішнього навантаження P , Н для стопи Restore від ОТТОВОСК.

Графік для матеріалу 1 (рис. 21) побудовано суцільною червоною лінією, матеріал 2 – пунктирна синя лінія, матеріал 3 – штрихова зелена лінія. Горизонтальні лінії рожевого, блакитного та коричневого кольору – межі текучості матеріалів 1, 2 і 3, відповідно.

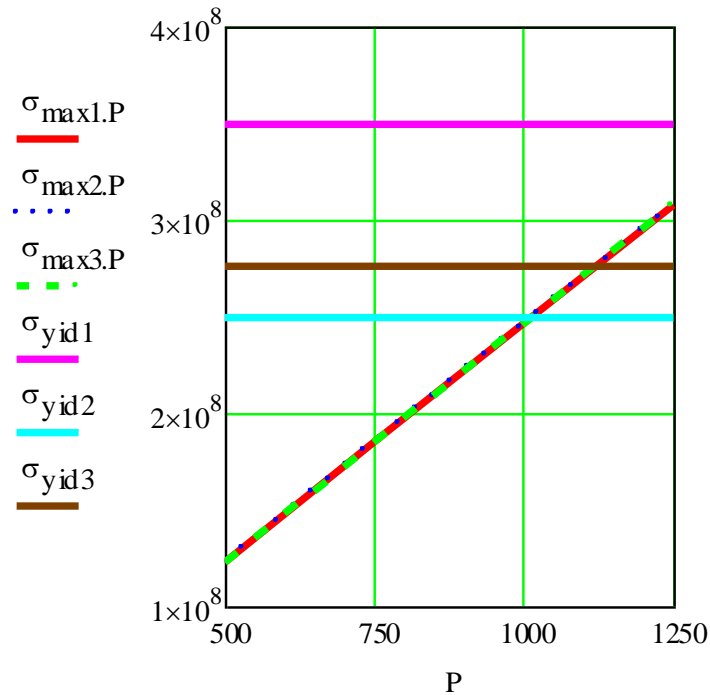


Рисунок 21 - Залежність σ_{max} від P для стопи Restore від ОТТОВОСК

За результатами моделювань графіки залежностей σ_{max} від P мають лінійний прямо пропорційний характер та практично збігаються один з одним для всіх матеріалів. Це означає, що залежності максимальних еквівалентних напружень за Мізесом від експлуатаційного навантаження на виріб для вуглецевої сталі, неіржавної сталі та титана практично ідентичні.

Графіки σ_{max} знаходяться нижче межі текучості вуглецевої сталі, це означає, що за розглянутих експлуатаційних навантажень відносно безпечно використовувати цей матеріал для протеза стопи, міцність забезпечено.

Графіки σ_{max} знаходяться нижче межі текучості неіржавної сталі за експлуатаційних навантажень 500-1000 Н, та вище межі текучості при

1250 Н. За навантаження 1250 Н використовувати неіржавну сталь для протеза стопи небезпечно, міцність не забезпечено.

Графіки σ_{\max} знаходяться нижче межі текучості титана з представленими у таблиці 1 механічними характеристиками за експлуатаційних навантажень 500-750 Н, майже збігаються за навантаження 1000 Н та вище межі текучості при 1250 Н. За навантаження від 1000 Н і вище використовувати титан з розглянутими механічними характеристиками для протеза стопи небезпечно, міцність не забезпечено.

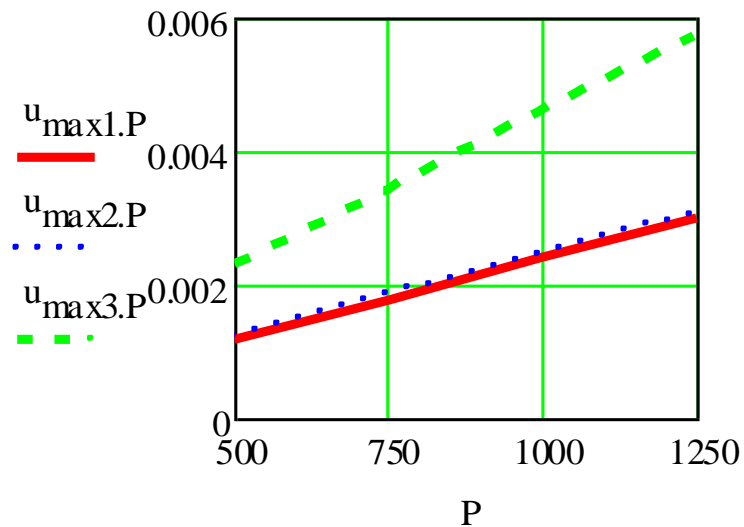


Рисунок 22 - Залежність u_{\max} від P для стопи Restore від OTTOBOCK

За результатами моделювань графіки залежностей u_{\max} від P мають лінійний прямо пропорційний характер та для вуглецевої і неіржавної сталі практично збігаються один з одним. Залежність u_{\max} від P для титана має більший кут нахилу, тобто максимальне переміщення більше залежить від зміни експлуатаційного навантаження, тобто такий титан є менш жорстким ніж розглянуті вуглецева і неіржавна сталі.

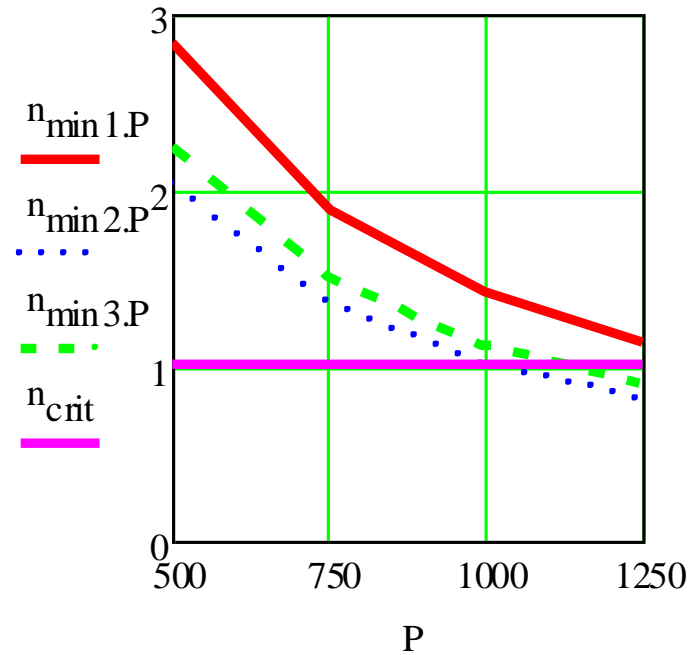


Рисунок 23 - Залежність n_{\min} від P для стопи Restore від ОТТОВОСК

Як видно із графіка (рис. 23) характер залежностей n_{\min} від P спадний та нелінійний для усіх матеріалів. n_{\min} є найбільшим для вуглецевої сталі, у неіржавної сталі менше приблизно на 35 %, у титана менше приблизно на 20 %.

Треба додати, що на рисунку 23 горизонтальною рожевою лінією позначено критичний рівень мінімального коефіцієнта запаса міцності. Якщо графік n_{\min} від P знаходиться нижче цієї горизонталі, то експлуатація за таких навантажень для такого матеріалу є небезпечною. Використовувати неіржавну сталь та титан за експлуатаційних навантажень може бути небезпечно, міцність не забезпечено.

Досліджено тривимірну модель стопи для низького функціонального рівня Restore від ОТТОВОСК. Проаналізовано напружено-деформований стан, параметри міцності та жорсткості моделей в залежності від корисного навантаження.

Встановлено лінійний прямо пропорційний характер залежностей максимальних напружень та максимальних переміщень від корисного

навантаження у моделі стопи Restore. Встановлено спадний та нелінійний характер залежностей мінімального коефіцієнта запаса міцності для усіх матеріалів.

Дослідження виконано для моделей, виготовлених із вуглецевої сталі, неіржавної сталі та титана.

Встановлено, що конструкція стопи Restore із вуглецевої сталі має кращі показники міцності та жорсткості у порівнянні з моделями із неіржавної сталі чи титана.

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Сертифікація досягнень студентів здійснюється за допомогою прозорих процедур, що ґрунтуються на об'єктивних критеріях відповідно до Положення університету «Про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти».

Досягнутий рівень компетентностей відносно очікуваних, що ідентифікований під час контрольних заходів, відображає реальний результат навчання студента за дисципліною.

Шкали

Оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП» здійснюється за рейтинговою (100-бальною) та інституційною шкалами. Остання необхідна (за офіційною відсутністю національної шкали) для конвертації (переведення) оцінок мобільних студентів.

Шкали оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП»

Рейтингова	Інституційна
90...100	відмінно / Excellent
74...89	добре / Good
60...73	задовільно / Satisfactory
0...59	незадовільно / Fail

Кредити навчальної дисципліни зараховуються, якщо студент отримав підсумкову оцінку не менше 60-ти балів. Нижча оцінка вважається академічною заборгованістю, що підлягає ліквідації відповідно до Положення про організацію освітнього процесу НТУ «ДП».

Засоби та процедури

Зміст засобів діагностики спрямовано на контроль рівня сформованості знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності студента за вимогами НРК до 6-го кваліфікаційного рівня під час демонстрації регламентованих робочою програмою результатів навчання.

Студент на контрольних заходах має виконувати завдання, орієнтовані виключно на демонстрацію дисциплінарних результатів навчання (розділ 2).

Засоби діагностики, що надаються студентам на контрольних заходах у вигляді завдань для поточного та підсумкового контролю, формуються шляхом конкретизації вихідних даних та способу демонстрації дисциплінарних результатів навчання.

Засоби діагностики (контрольні завдання) для поточного та підсумкового контролю дисципліни затверджуються кафедрою.

Види засобів діагностики та процедур оцінювання для поточного та підсумкового контролю дисципліни подано нижче.

Засоби діагностики та процедури оцінювання

ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ			ПІДСУМКОВИЙ КОНТРОЛЬ	
навчальн е заняття	засоби діагностики	процедури	засоби діагностики	процедури
лекції	контрольні завдання за кожною темою	виконання завдання під час лекцій	комплексна контрольна робота (ККР)	визначення середньозваженого результату поточних контролів; виконання ККР під час екзамену за бажанням студента
практичні	контрольні завдання за кожною темою	виконання завдань під час практичних занять		
	або індивідуальне завдання	виконання завдань під час самостійної роботи		

Під час поточного контролю лекційні заняття оцінюються шляхом визначення якості виконання контрольних конкретизованих завдань. Практичні заняття оцінюються якістю виконання контрольного або індивідуального завдання.

Якщо зміст певного виду занять підпорядковано декільком складовим, то інтегральне значення оцінки може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюються викладачем.

За наявності рівня результатів поточних контролів з усіх видів навчальних занять не менше 60 балів, підсумковий контроль здійснюється без участі студента шляхом визначення середньозваженого значення поточних оцінок.

Незалежно від результатів поточного контролю кожен студент під час екзамену має право виконувати ККР, яка містить завдання, що охоплюють ключові дисциплінарні результати навчання.

Кількість конкретизованих завдань ККР повинна відповідати відведеному часу на виконання. Кількість варіантів ККР має забезпечити індивідуалізацію завдання.

Значення оцінки за виконання ККР визначається середньою оцінкою складових (конкретизованих завдань) і є остаточним.

Інтегральне значення оцінки виконання ККР може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюється кафедрою для кожної складової опису кваліфікаційного рівня НРК.

Критерії

Реальні результати навчання студента ідентифікуються та вимірюються відносно очікуваних під час контрольних заходів за допомогою критеріїв, що описують дії студента для демонстрації досягнення результатів навчання.

Для оцінювання виконання контрольних завдань під час поточного контролю лекційних і практичних занять в якості критерію використовується коефіцієнт засвоєння, що автоматично адаптує показник оцінки до рейтингової шкали:

$$O_i = 100 a/m,$$

де a – число правильних відповідей або виконаних суттєвих операцій відповідно до еталону рішення; m – загальна кількість запитань або суттєвих операцій еталону.

Індивідуальні завдання та комплексні контрольні роботи оцінюються експертно за допомогою критеріїв, що характеризують співвідношення вимог до рівня компетентностей і показників оцінки за рейтинговою шкалою.

Зміст критеріїв спирається на компетентнісні характеристики, визначені НРК для бакалаврського рівня вищої освіти (подано нижче).

Загальні критерії досягнення результатів навчання для 6-го кваліфікаційного рівня за НРК

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
Знання		
♦ концептуальні наукові та практичні знання, критичне осмислення теорій, принципів, методів і понять у сфері професійної діяльності та/або навчання	Відповідь відмінна – правильна, обґрунтована, осмислена. Характеризує наявність: - концептуальних знань; - високого ступеню володіння станом питання; - критичного осмислення основних теорій, принципів, методів і понять у навчанні та професійній діяльності	95-100
	Відповідь містить негрубі помилки або описки	90-94
	Відповідь правильна, але має певні неточності	85-89
	Відповідь правильна, але має певні неточності й недостатньо обґрунтована	80-84

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Відповідь правильна, але має певні неточності, недостатньо обґрунтована та осмислена	74-79
	Відповідь фрагментарна	70-73
	Відповідь демонструє нечіткі уявлення студента про об'єкт вивчення	65-69
	Рівень знань мінімально задовільний	60-64
	Рівень знань незадовільний	<60
Уміння/навички		
♦ поглиблені когнітивні та практичні уміння/навички, майстерність та інноваційність на рівні, необхідному для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем у сфері професійної діяльності або навчання	Відповідь характеризує уміння: - виявляти проблеми; - формулювати гіпотези; - розв'язувати проблеми; - обирати адекватні методи та інструментальні засоби; - збирати та логічно й зрозуміло інтерпретувати інформацію; - використовувати інноваційні підходи до розв'язання завдання	95-100
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності з негрубими помилками	90-94
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85-89
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації двох вимог	80-84
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	74-79
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70-73

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65-69
	Відповідь характеризує уміння/навички застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60-64
	рівень умінь/навичок незадовільний	<60
Комунікація		
<ul style="list-style-type: none"> ♦ донесення до фахівців і нефахівців інформації, ідей, проблем, рішень, власного досвіду та аргументації; ♦ збір, інтерпретація та застосування даних; ♦ спілкування з професійних питань, у тому числі іноземною мовою, усно та письмово 	<p>Вільне володіння проблематикою галузі.</p> <p>Зрозумілість відповіді (доповіді). Мова:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правильна; - чиста; - ясна; - точна; - логічна; - виразна; - лаконічна. <p>Комунікаційна стратегія:</p> <ul style="list-style-type: none"> - послідовний і несуперечливий розвиток думки; - наявність логічних власних суджень; - доречна аргументації та її відповідність відстоюваним положенням; - правильна структура відповіді (доповіді); - правильність відповідей на запитання; - доречна техніка відповідей на запитання; - здатність робити висновки та формулювати пропозиції 	95-100
	<p>Достатнє володіння проблематикою галузі з незначними хибами.</p> <p>Достатня зрозумілість відповіді (доповіді) з незначними хибами.</p> <p>Доречна комунікаційна стратегія з незначними хибами</p>	90-94

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добре володіння проблематикою галузі. Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано п'ять вимог)	74-79
	Задовільне володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано сім вимог)	70-73
	Часткове володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано дев'ять вимог)	65-69
	Фрагментарне володіння проблематикою галузі. Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано 10 вимог)	60-64
	Рівень комунікації незадовільний	<60
<i>Відповідальність і автономія</i>		
♦ управління складною технічною або професійною діяльністю чи проектами;	Відмінне володіння компетенціями менеджменту особистості, орієнтованих на: 1) управління комплексними проектами, що передбачає: - дослідницький характер навчальної діяльності, позначена вмінням	95-100

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
<p>♦ спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у непередбачуваних робочих та/або навчальних контекстах;</p> <p>♦ формування суджень, що враховують соціальні, наукові та етичні аспекти;</p> <p>♦ організація та керівництво професійним розвитком осіб та груп;</p> <p>♦ здатність продовжувати навчання із значним ступенем автономії</p>	<p>самостійно оцінювати різноманітні життєві ситуації, явища, факти, виявляти і відстоювати особисту позицію;</p> <ul style="list-style-type: none"> - здатність до роботи в команді; - контроль власних дій; <p>2) відповідальність за прийняття рішень в непередбачуваних умовах, що включає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обґрунтування власних рішень положеннями нормативної бази галузевого та державного рівнів; - самостійність під час виконання поставлених завдань; - ініціативу в обговоренні проблем; - відповідальність за взаємовідносини; <p>3) відповідальність за професійний розвиток окремих осіб та/або груп осіб, що передбачає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - використання професійно-орієнтовних навичок; - використання доказів із самостійною і правильною аргументацією; - володіння всіма видами навчальної діяльності; <p>4) здатність до подальшого навчання з високим рівнем автономності, що передбачає:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ступінь володіння фундаментальними знаннями; - самостійність оцінних суджень; - високий рівень сформованості загальнонавчальних умінь і навичок; - самостійний пошук та аналіз джерел інформації 	
	<p>Упевнене володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано дві вимоги)</p>	<p>90-94</p>

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь/навичок, комунікації, відповідальності і автономії	Показник оцінки
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добре володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано шість вимог)	74-79
	Задовільне володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано сім вимог)	70-73
	Задовільне володіння компетенціями менеджменту особистості (не реалізовано вісім вимог)	65-69
	Рівень відповідальності і автономії фрагментарний	60-64
	Рівень відповідальності і автономії незадовільний	<60

Рекомендована література

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

1. Слупська Ю.С., Онищенко С.В. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг в матеріалознавстві» для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство» [Електронний ресурс] / Ю.С. Слупська; С.В. Онищенко; Міністерство освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2023. – 129 с.
2. Комп'ютерні технології в матеріалознавстві : навчально - методичний посібник / О.Є. Бармін, О.Є. Вуєць, А.І. Зубков та ін.; за ред. проф. О.В. Соболя та доц. І.М. Колупаєва. – Харків : НТУ «ХП», 2018. – 272 с.
3. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля "Аналіз напружень" Autodesk Inventor: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.М. Гейчук, К.М. Рудаков. – К.: НТУУ "КП", 2016. – 176 с.

↑↑↑ДО ЗМІСТУ↑↑↑

Онищенко Сергій Валерійович
Слупська Юлія Сергіївна
Чечель Тарас Олегович

**МОДЕЛЮВАННЯ БІОТЕХНІЧНОГО ВИРОБУ, ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЙОГО МАТЕРІАЛУ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ У AUTODESK INVENTOR.**

Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт
з дисципліни «Комп'ютерний інжиніринг у матеріалознавстві»
для бакалаврів спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Видається в авторській редакції

Електронний ресурс Авт. арк. 2,0

Розроблено і видано в
Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.