

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра інжинірингу та дизайну в машинобудуванні

К.С. Заболотний, О.В. Панченко, О.Л. Жупієв

Методи віртуального моделювання технологічних процесів машин

Методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи для
аспірантів спеціальності 133 Галузеве машинобудування

для аспірантів
освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Дніпро
НТУ «ДП»
2023

Заболотний К.С. Методи віртуального моделювання технологічних процесів машин. Методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи для аспірантів спеціальності 133 Галузеве машинобудування / К.С. Заболотний, О.В. Панченко, О.Л. Жупієв; Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2023. – 46 с. – 1 електрон. диск (CD-ROM)

Автори:

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

Панченко О.В., канд. техн. наук, доц.

Жупієв О.Л., ст. викладач

Затверджено до видання науково-методичної комісії спеціальності 133 Галузеве машинобудування (протокол № 2 від 30.09.2022) і кафедри ІДМ (протокол № 1 від 31.08.2022), редакційною радою НТУ «ДП» (протокол № 1 від 10.01.2023) як методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Методи віртуального моделювання технологічних процесів машин» для аспірантів освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 Галузеве машинобудування.

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

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

Проектування маніпулятора для тунельного укладальника на базі серійного УТК-2

Мета роботи – на основі аналізу технології роботи та конструкції серійного тунельного укладальника УТК-2 спроектувати основні деталі важеля маніпулятора укладальника згідно з вихідними даними (Див. Табл. 1).

Таблиця 1 Вихідні дані

№	D_n	D_v	n	B	t
1	5,5	5,1	9	1,0	22
2	5,5	5,1	10	1,0	22
3	5,5	5,1	12	1,0	22
4	6,0	5,6	9	1,0	22
5	6,0	5,6	10	1,0	22
6	6,0	5,6	12	1,0	22
7	6,0	5,6	9	1,5	44
8	6,0	5,6	10	1,5	44
9	6,0	5,6	12	1,5	44
10	6,5	6,1	9	1,0	22
11	6,5	6,1	10	1,0	22
12	6,5	6,1	12	1,0	22
13	6,5	6,1	9	1,5	22
14	6,5	6,1	10	1,5	22

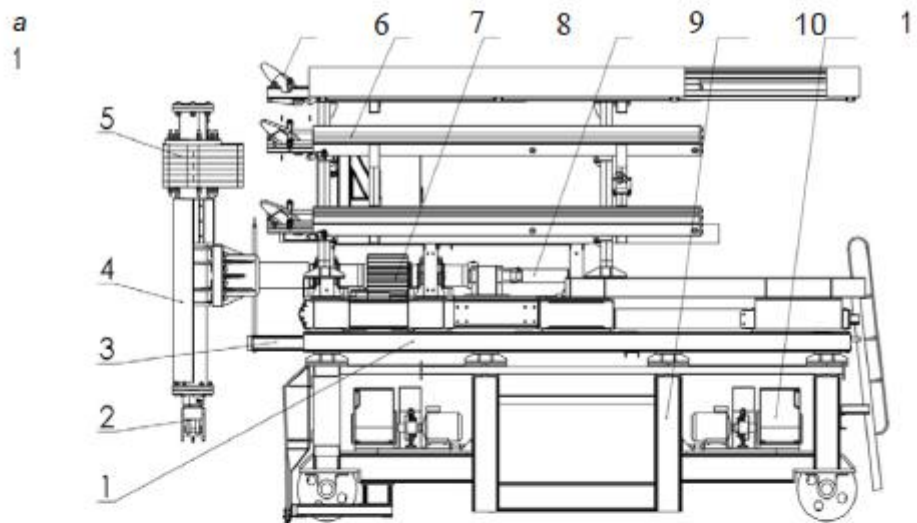
У таблиці 1 використовуються позначення: № - номер здобувача за списком групи; D_n - діаметр вироблення, м; D_v - внутрішній діаметр оброблення, м; n - кількість тюбінгів в кільці оброблення; B - ширина тюбінгу, м; t - товщина спинки тюбінгу, мм.

Основні розміри та маса деталей і вузлів важеля маніпулятора серійного укладальника УТК-2: маса штанги - 270 кг, маса корпусу важеля – 395 кг, зовнішні діаметри корпусу – 245 мм, гільзи (штанги) – 190 мм, штока – 90 мм; внутрішні, відповідно, – 200 мм, 150 мм і 62 мм. В якості заготовок використовуються гарячедеформовані безшовні труби по ГОСТ 8732-78: для корпусу – труба 245х36, для гільзи – 219х40 і для штока – 102х20. Матеріал заготовок для корпусу і штанги – сталь В45 ГОСТ 2738-78, межа плинності матеріалу $\sigma_T = 323$ МПа; для штока – сталь В35 ГОСТ 2738-78, $\sigma_T = 294$ МПа.

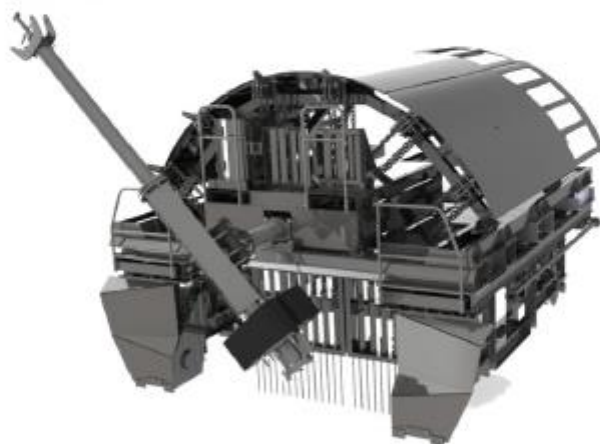
Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

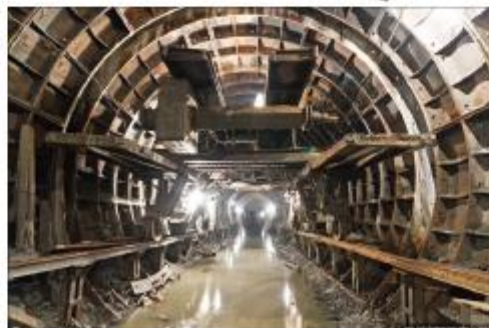
або надається аспіранту на електронному носії



b



c

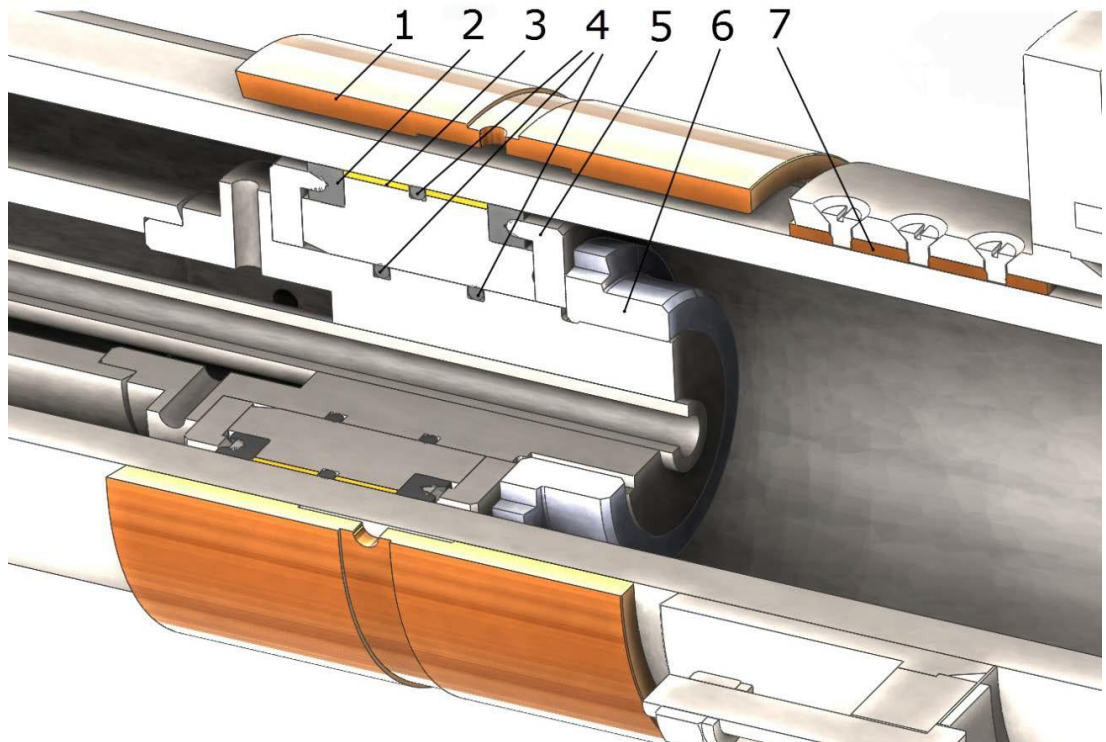


Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

Максимальний згинальний момент діє на гільзу в місці знаходження поршня. Тому на гільзі зроблені дві горизонтальні лиски, які взаємодіють з двома змінними бронзовими вкладишами 8 (див. Рис. 6). Ці вкладиші вставляються в кільцеву бронзову направляючу ковзання 1. Аналогічно в конструкції букси для зменшення тертя між поршнем і гільзою застосовано латунні кільця 2, а в якості ущільнювачів – гумові манжети 7 і кільця 5 і 6.



1 - бронзова кільцева втулка; 2 - манжета; 3 - латунні кільця; 4 - кільця ущільнювачів; 5 - притиска шайба; 6 - гайка; 7 - бронзова шпонка

Рисунок 6 - Конструкція поршня

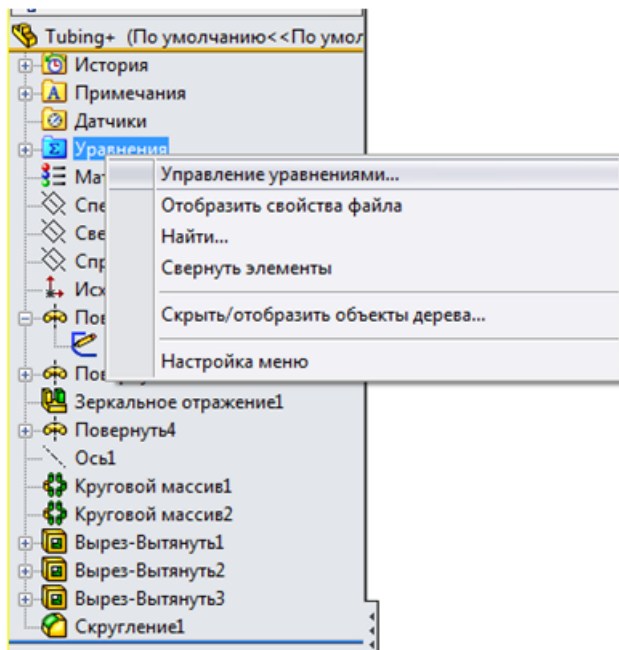
1.3. Опис конструкції тюбінгу

Чавунний тюбінг (рис. 7) має вигляд ребристою коробки, дно якої (спинка тюбінгу) виконано по круговій кривій, що відповідає радіусу кільця оброблення тунелю. Тюбінг має два радіальних (поздовжніх) борта, площину яких утворює поздовжні стики (шви) в готовому обробленні, а також два кільцевих (поперечних) борту, які в готовому обробленні утворюють кільцеві стики (шви). Краї бортів тюбінгу, звернені всередину кільця оброблення, мають спеціальні виїмки - фальци, які при складанні оброблення утворюють так звані карбувальні канавки. Усередині тюбінгу, між радіальними і кільцевими бортами, розташовані зміцнюючі перебірки - ребра жорсткості: кільцеве і 2-3 (в залежності від конструкції тюбінгу) радіальних. Болтові отвори в бортах тюбінгу служать для з'єднання суміжних тюбінгів в кільце, а кілець - в оброблення тунелю. У спинці

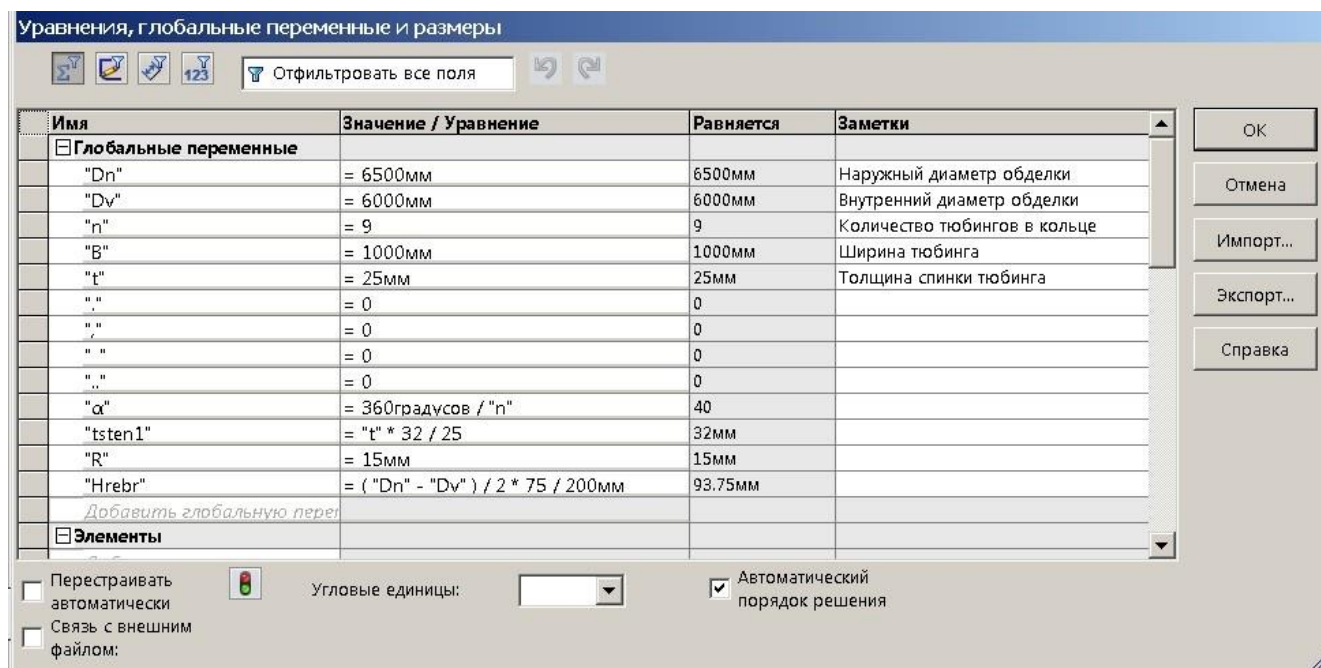
Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії



а



б

Рисунок 8 - Налаштування глобальних змінних : а - інструмент управління рівняннями, б - глобальні змінні

Задача №3. Налаштувати компоувальний ескіз в SolidWorks з використанням муляжів платформи, порталу, опори, кільця оброблення.

Скопіюйте в папку «Укладальник + прізвище» документ Read: \\ Викладачі \ Жупієв \ Укладальник \ Компонувальний_ескіз.sldprt. Задайте глобальних змінних свої значення «Dn», «Dv», «n», «t». Викличте меню

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

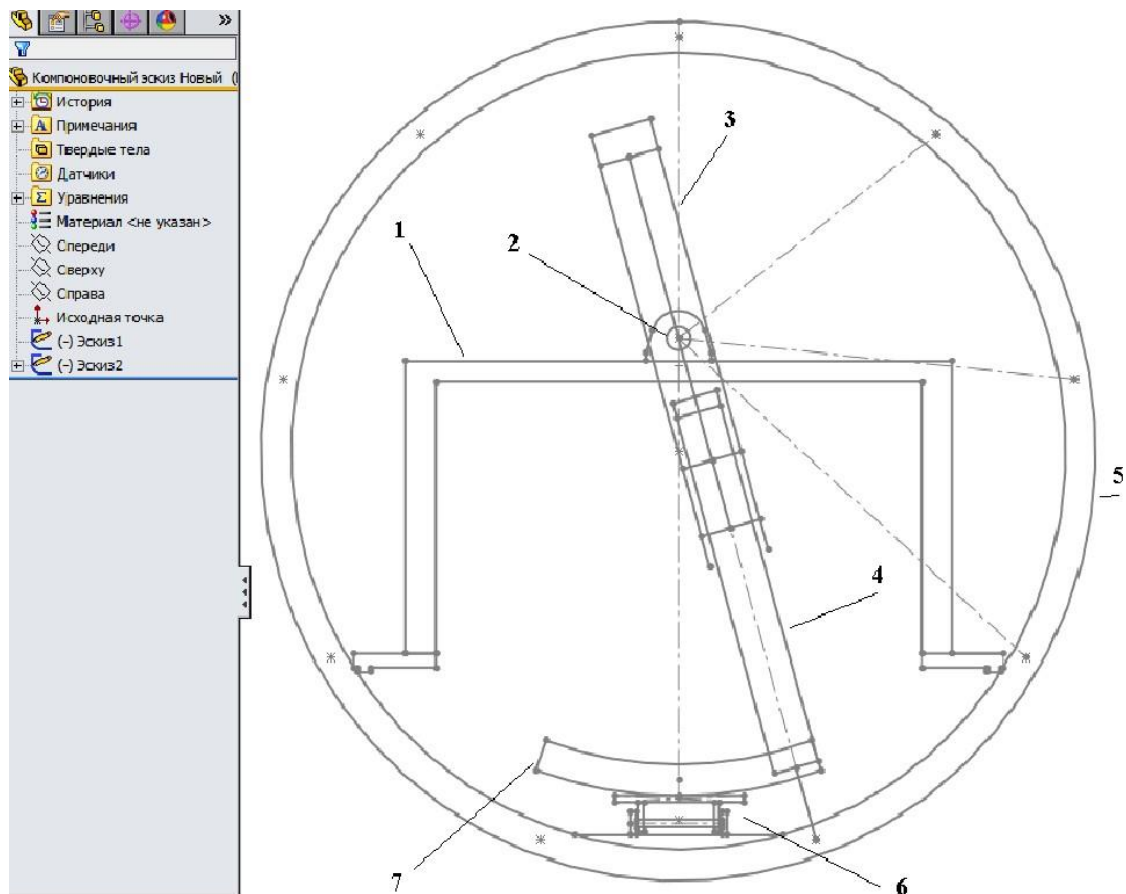


Рисунок 10 - Компонувальний ескіз

У конструкції тюбінгів передбачено, що центр отворів в стінках відстоїть від спинки тюбінгу на 80 мм. На ескізі (рис. 11) на окружності цього радіусу розставлені крапки, відповідні середнім положенням захвату. Відрізки осевих ліній з'єднують центр вала з центром кожного тюбінгу (як у вихідному - відрізок ОА, так і в кінцевому положенні - відрізки ОВ1, ОВ2, ..., ОВ6.

Зайдіть в редагування ескізу «Ескіз 2» (рис. 11) і помістіть захват (точку Х) в точку А. Задайте в звітному документі Mathcad «Розрахунок» $ORIGIN := 0$. Дайте r_0 - виміряне на ескізі r , h_0 - виміряне на ескізі h . Потім розміщуйте захват (точку Х) в точку В1, В2, ..., В6 і виконайте аналогічні присвоєння для r і h ($r_1, r_2, \dots, h_1, h_2, \dots$). Побудуйте в Mathcad графіки залежності r і h від номера положення захвату. Проаналізуйте графіки і надайте значення r_{min} , r_{max} і h_{max} . Оскільки необхідний запас ходу при установці тюбінгів збільште значення r_{max} в 1,015 рази. Крім цього, для того щоб при повороті важеля маніпулятора тюбінг, що встановлюється, не зачепило за вже встановлені, зменште значення r_{min} в 0,625 рази.

Запишіть в звітний документ значення r_{min} , r_{max} і необхідну величину ходу x , рівну різниці $r_{max} - r_{min}$.

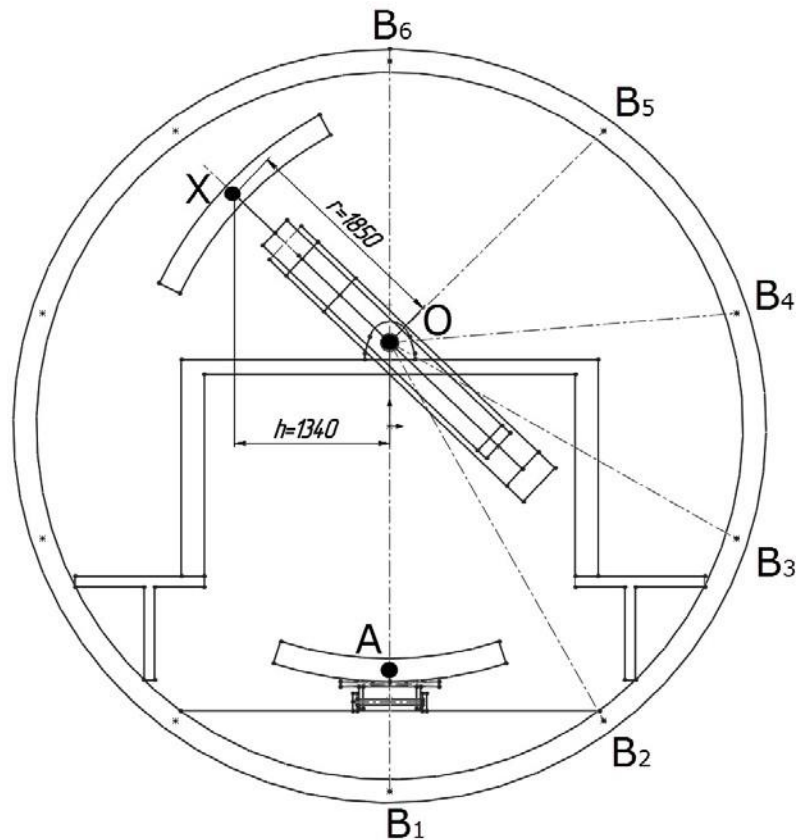


Рисунок 11 - Траєкторії установки тюбінгів в кільце обкладання і
схема вимірювань плечей і радіусів

Задача №4. Обчислення довжини ходу поршня, довжин корпусу і штанги

На рисунку 12 відзначені характерні точки важеля маніпулятора. Тут точка Q відповідає лівому кінцю корпусу - зовнішній межі наконечника; G - правій межі наконечника штока; D - правій межі корпусу; M і N - лівої і правої кордонів поршня. На штанзі розташовані точки: K - ліва межа гільзи, R - права межа букси, E - ліва межа наконечника, C - точка з'єднання захвата і тюбінгу. Крім цього O - вісь обертання важеля маніпулятора; P - положення центра ваги противаги; A і B - середні точки плям контакту напрямних ковзання штанги і корпусу. На рисунку наведені розміри основних вузлів важеля маніпулятора, відповідні до УТК-2, ($QG = 170$ мм, $LK = 15$ мм, $LR = 115$ мм, $ND = 175$ мм, $MD = 350$ мм, $EC = 455$ мм). Приймемо мінімальне значення довжини поршневої камери $Z = 30$ мм.

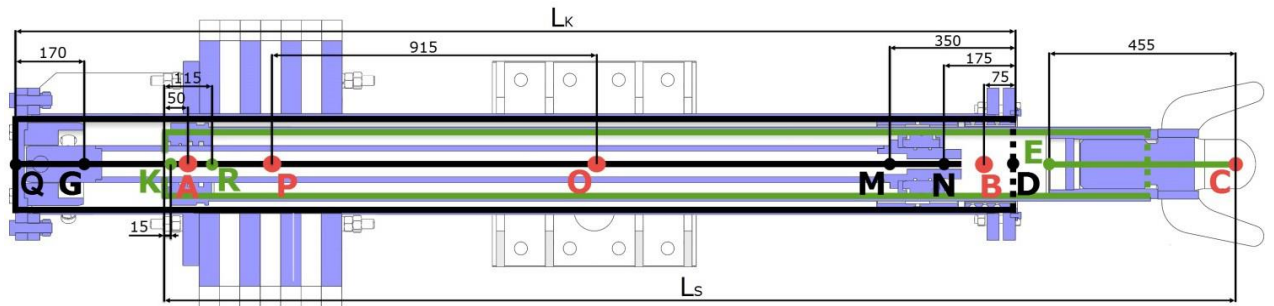


Рисунок 12 - Характерні точки важеля маніпулятора

При максимально утягнутому положенні штанги

$$r_{\min} = OC = OD - ND + Z + EC. \quad (1)$$

Введемо позначення l_k і $l_{ш}$ для довжин корпусу і штанги. Для визначення довжини корпусу розглянемо крайнє праве (максимально висунуте) положення штанги (рис.13), при цьому відстані QR і QM рівні

$$QR = QG + x + LR - LK, \quad (2) \quad QM = l_k - MD. \quad (3)$$

Аналогічно для визначення довжини штанги розглянемо крайнє ліве положення штанги (рис.14), при цьому різниця відстаней QE і QN дорівнює зазору Z..

$$QE = QG - LK + l_{ш} - EC, \quad (4) \quad QN = l_k - ND. \quad (5)$$

Знайдіть з виразів (1) - (5) символічні і числові значення OD, l_k і $l_{ш}$ і запишіть їх у звітний документ.

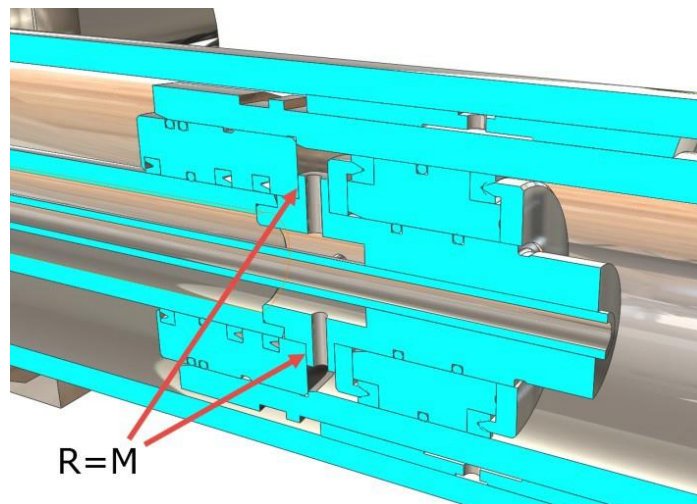


Рисунок 13 - Обмеження руху штанги вправо (висунення)

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

Проектування маніпулятора для тунельного укладальника на базі серійного УТК-2

Лабораторна робота № 2. Визначення основних розмірів важеля маніпулятора

Задача №5. Перевірити можливу втрату стійкості штока

Створіть в SolidWorks модель штока у вигляді труби довжиною l_k з простої вуглецевої сталі. Використовуючи мене «Додавання» додайте SolidWorks Simulation, в ньому створіть нове дослідження «Втрата стійкості» і перетворіть трубу в балку (див. Рис. 1). (Примітка – допустимо дослідити стійкість тривимірної моделі).

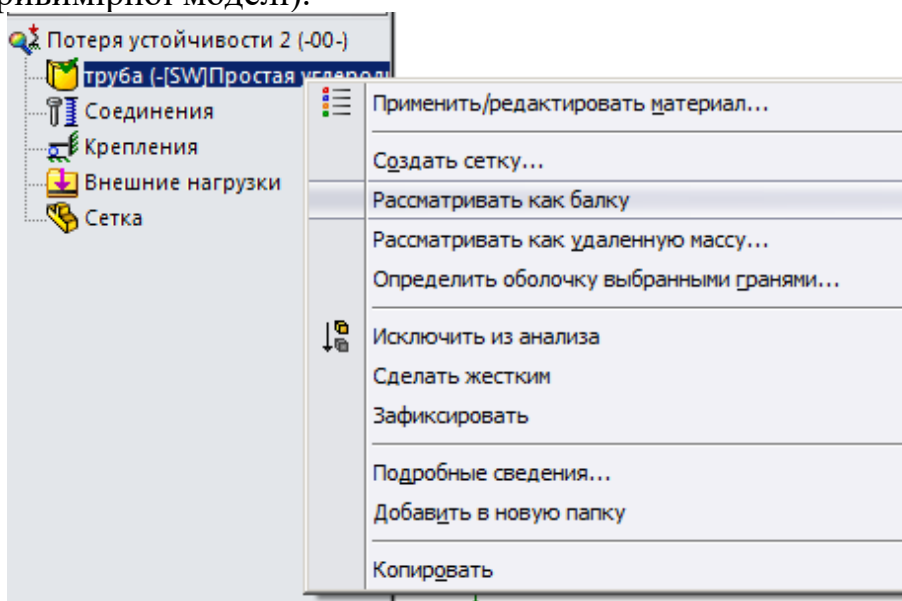


Рисунок 1 - Инструмент перетворення твердотільної моделі в балочну

Ви побачите, що змінився значок, зліва від імені деталі, і з'явилася ще одна папка «Група з'єднань» з попереджуючим знаком у вигляді знаку оклику в жовтому трикутнику, що показує, що цю папку потрібно редагувати. Після натискання правою клавішею миші та виберіть пункт «Редагувати» з'явиться вікно інструменту «Редагувати з'єднання» (див. Рис. 2). Збережіть існуючі налаштування і натисніть кнопку «Обчислити». У вікні «Результати» виберіть кнопку «Показати нейтральну вісь».

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

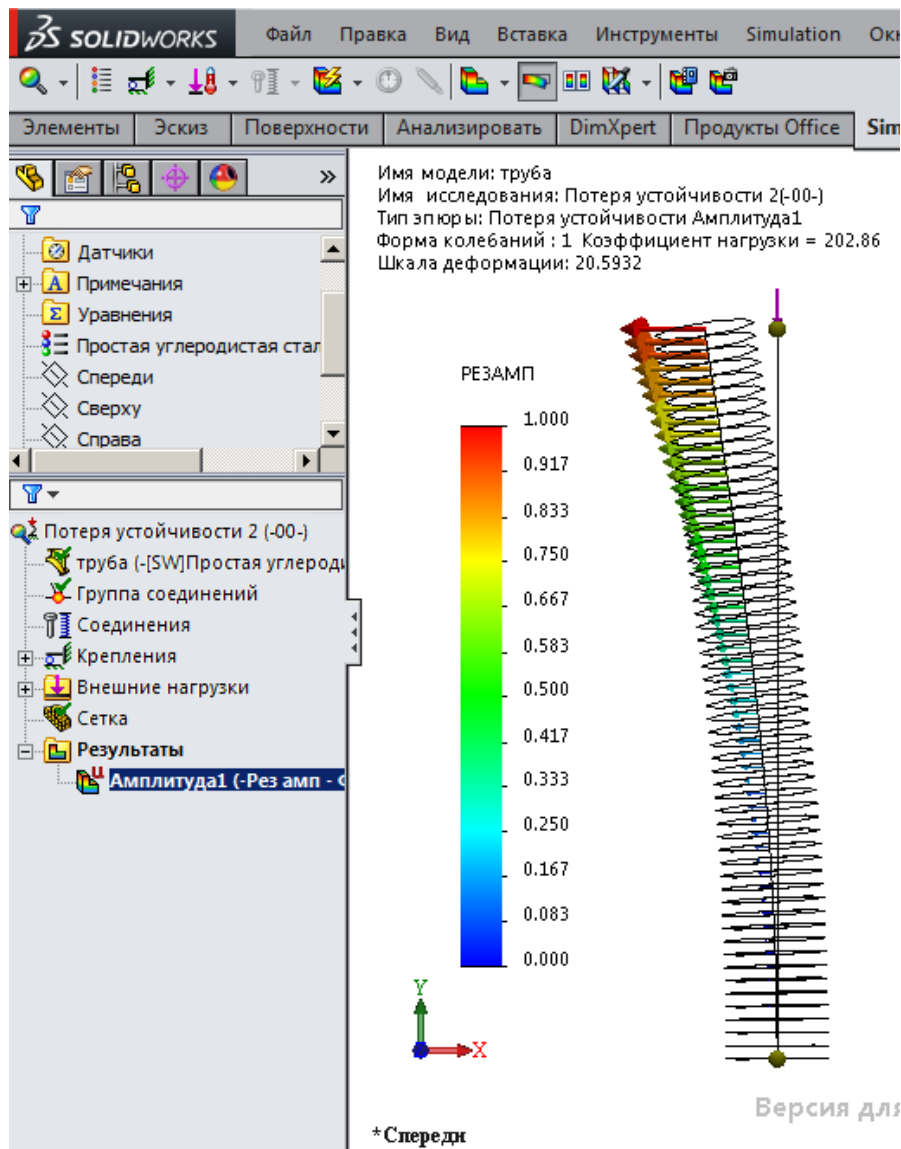


Рисунок 5 - Епюра форми втрати стійкості

Найчастіше для корпусів гідравлічних циліндрів (гільз) використовуються хонінговані труби. Процес хонінгування полягає в доведенні отвору труби спеціальним хонем, які представляють із себе зворотно-поступальну обертову голівку, що містить від шести абразивних розсувних брусків. Перед початком хонінгування труба повинна бути вже розточена або розшліфована. По суті, ця процедура є особливо тонким шліфуванням, тому що хон містить дрібнозернисті бруски, а сам процес відрізняється чистотою і точністю.

Таблиця 1 - Сортамент труб сталевих безшовних (ДСТУ 8938:2019), мм

Зовнішній діаметр	Товщина стінки	Зовнішній діаметр	Товщина стінки	Зовнішній діаметр	Товщина стінки
25, 28, 32, 38	2,5...8	83	3,5...18	168, 180, 194	5...45
42, 45, 50	2,5...10	89, 95, 102	3,5...22	203, 219	6...50
54	3...11	108, 114, 121	4...28	245, 273	7...50
57	3...12	127	4...30	299, 325, 351	8...75
60; 63,5	3...14	133	4...32	377, 402, 426, 450	9...75
68, 70	3...16	140, 146, 152	4,5...36	480, 500, 530	9...14, 25...75
73, 76	3...18				

Примітка. Товщина стінки вибирається з ряду: 2,5; 2,8; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16; 17; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 36; 40; 45; 50; 56; 60; 63; 70; 75.

Задача №6. Визначити внутрішній діаметр гільзи

По знайденому діаметру штока і заданому тиску 2,5 МПа визначте з формули (1) (без урахування втрат тиску на подолання додаткових навантажень) внутрішній діаметр гільзи в мм і округлите його до найближчого більшого з основного ряду по ГОСТу 6540-64: 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 60; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320 і 400 або додаткового: 14; 18; 22; 28; 36; 45; 55; 70; 90; 110; 140; 180; 220; 280 і 360.

$$d_r = \sqrt{\frac{4gk_y(m_r + m_t)}{\pi p} + D_{\text{ш}}^2} \quad (1)$$

Де k_y - коефіцієнт запасу по зусиллю, що дорівнює 1,2;
 m_r - маса штанги; m_t - маса тюбінгу; $D_{\text{ш}}$ - діаметр штока .

Задача №7. Скласти розрахункову схему важеля

У компоновальному ескізі поставте важіль гідроциліндра і захват в положенні, при якому на штангу діє максимальний момент. Запишіть в звітний документ значення кута нахилу важеля по відношенню до горизонталі і відстань від осі обертання до осі захвата. З рисунка 12 і формул (1-5) лабораторної роботи №1 знайдіть і запишіть в звітний документ довжини відрізків АВ, OD і ВС.

На рисунку 6 зображена спрощена розрахункова схема важеля маніпулятора, в якій штанга моделюється балкою LC, а корпус двома балками QO і OD, які затиснені в точці O, що відповідає загальмованому валу обертання важеля. Точки А і В відповідають точкам взаємодії корпусу і штанги.

За даною схемою складіть рівняння рівноваги штанги. Для визначення моменту M_B застосуйте метод перетинів, проведіть перетин через точку B і відкиньте ділянку балки BC . Момент M_B дорівнюватиме сумі моментів ваг штанги і тюбінгу.

Реакції опор R_A і R_B визначаються з умови рівності нулю суми моменти всіх сил щодо точок A і B .

Запишіть в звітний документ вираження для знайдених моментів і опорних реакцій в символьному вигляді і їх чисельні значень.

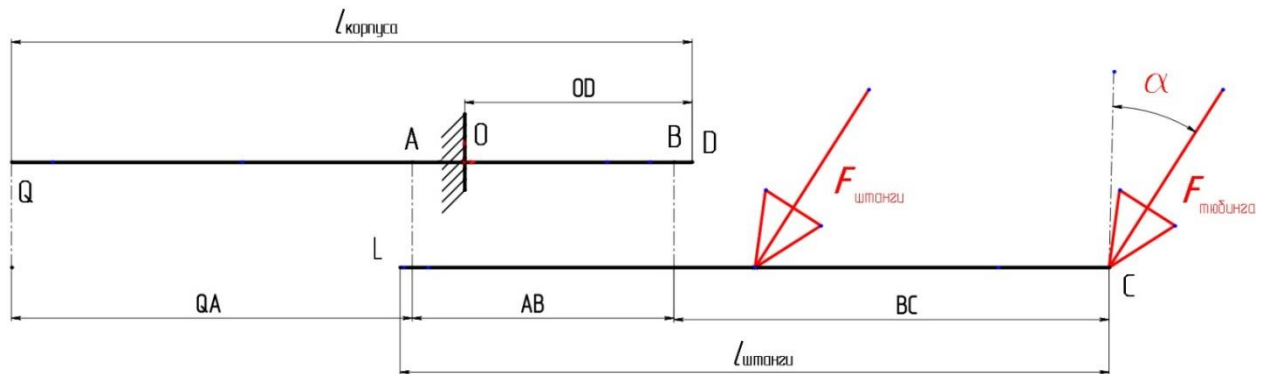


Рисунок 6 - Розрахункова схема важеля маніпулятора

Момент опору кільцевого перерізу обчислюється за формулою

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad (2)$$

де D - зовнішній діаметр труби, а d - внутрішній.

Для гідроциліндрів приймається запас міцності 3. Обчисліть допустимі напруги σ_d і за формулою $W_r = \frac{M_B}{\sigma_d}$ визначте мінімально допустимий момент опору гільзи.

Формула (2) являє собою рівняння четвертого порядку щодо зовнішнього діаметра гільзи. Для його вирішення потрібно початкове наближення, в якості якого вибираємо максимальні напруги на внутрішньому діаметрі.

$$D_r = \sqrt[4]{\frac{32W_r d_r}{\pi} + d_r^4} \quad (3)$$

Далі в програмі MathCad за допомогою блоку Given-Find визначте значення D_r за формулою (2) і знайденим значенням W_r . Отримане значення округлюється з кратністю десять в більшу сторону.

Для перевірки міцності гільзи під дією максимально можливого тиску, який на 30% перевищує робочий тиск в магістралі (2,5 МПа), знайдіть мінімально допустиму товщину стінки гільзи за формулою (4) і порівняйте її

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

Проектування маніпулятора для тунельного укладання на базі тубінгоукладчика УТК-2

Лабораторна робота № 3. Перевірочний розрахунок міцності важеля маніпулятора

Мета роботи – розрахувати еквівалентні напруження в гільзі та корпусі і порівняти їх з допустимими.

Задача №8. Створити модель для перевірного розрахунку і виконати розрахунок

Для спрощення створення кінцево-елементної моделі використовуються такі допущення: товщина втулок $0,5(d_k - D_f)$, товщина стінок корпусу і заглушки дорівнює товщині стінки гільзи (Н), товщина букси дорівнює $2Н$, ширини втулок - 100 мм і 175 мм (див. рис. 1).

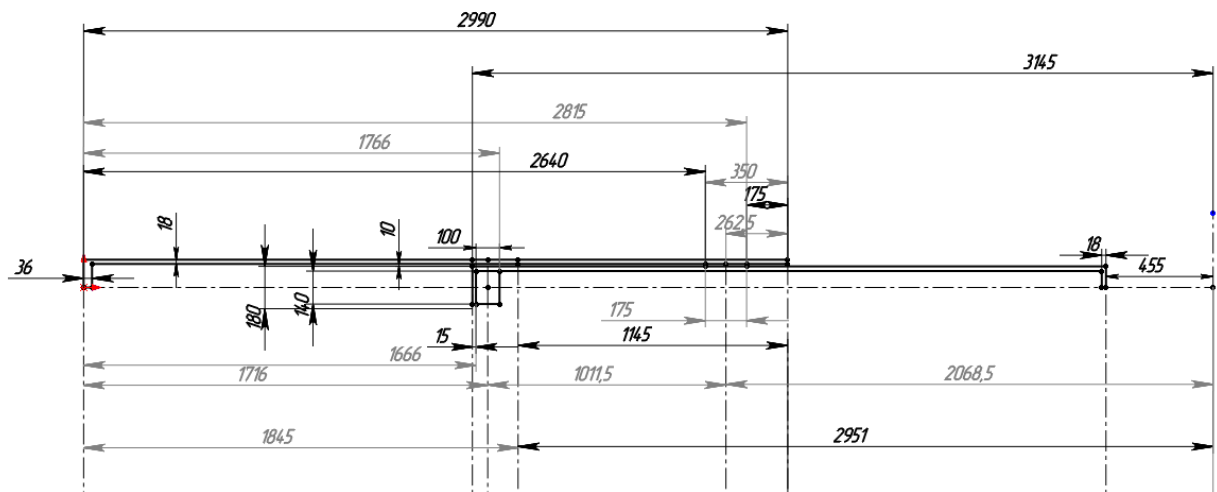


Рисунок 1 - Компонувальний ескіз для перевірного розрахунку

Створіть за своїми розмірами компонувальний ескіз (див. Рис. 1), потім, використовуючи інструмент *Повернена бобишка*, утворить п'ять елементів обертання *Повернути*, що складається з п'яти твердих тіл (гідроциліндра і корпусу) з простої вуглецевої сталі, і *Повернути* – дві втулки з бронзи з оловом.

В SolidWorks Simulation виконайте статичний аналіз для навантаження дистанційним навантаженням з точки С вагою наконечника, захвату та тубінгу. В запас міцності вважайте положення важеля горизонтальним. Зафіксуйте перетин корпусу, що відповідає валу повороту маніпулятора. До всіх стінок гідроциліндра прикладіть тиск 2,5 МПа.

При виборі допустимих напружень врахуйте, що запас міцності гідроциліндра – 3.

Виконайте перевірочний розрахунок і зробіть висновок про працездатність важеля маніпулятора.

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

кафедра інжинірингу та дизайну
в машинобудуванні

Звіт з лабораторних робіт №1,2,3

Виконав _____
Перевірив _____

Дніпро
2023

Вихідні дані: $D_n=6,3$ м – діаметр вироблення, м; $D_b=5,9$ м - внутрішній діаметр оброблення, м; $n=10$ – кількість тюбінгів в кільці оброблення; $B=1,5$ – ширина тюбінгу, м; $t=22$ – товщина спинки тюбінгу, мм.

Лабораторна робота №1 – Моделювання технології укладки тюбінгів

Інструменти – SolidWorks (робота з рівняннями та блоками) і Mathcad (робота з векторами та графіками).

Алгоритм виконання роботи:

- 1) Використовуючи керування рівняннями (Manage equations) налаштувати компоувальний ескіз (файл Layout sketch.sldprt) за своїми вихідними даними.
- 2) Промоделювати технологію укладки тюбінгів, для чого переміщуємо блоки на ескізі 2 так, щоб точка захвату збігалася з кожним із семи положень тюбінгів.
- 3) Розміщуючи блок штанги при максимально утягнутому та максимально висунутому положенні обчислити довжини ходу поршня, корпусу та штанги.

Задача №1– Дослідити залежності радіального та горизонтального розмірів осі вантажозахвату тюбінга від центру обертання маніпулятора.

У меню SolidWorks параметри системи (System Option) відключаємо встановлення автоматичних взаємозв'язків (Automatic relations) (Див. рис. 1).

System Options - Relations/Snaps

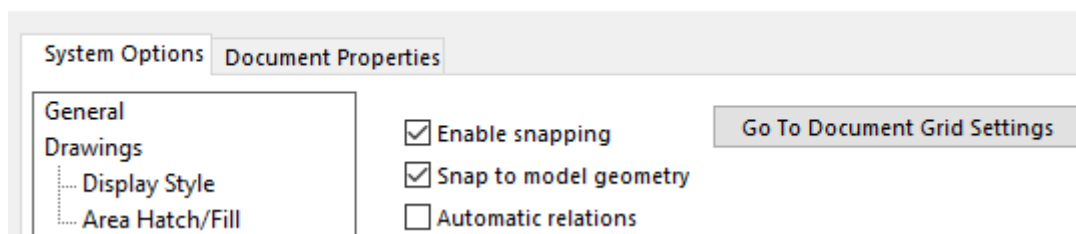


Рисунок 1 – Відключення автоматичних взаємозв'язків (Automatic relations)

Завантажуємо в SolidWorks файл Layout sketch.sldprt (див. рис. 2), який містить у собі два ескізи: нерухомих елементів – Sketch 1 (ескіз 1) (див. рис. 3) і рухомих – Sketch 2 (ескіз 2) (див. рис. 4).

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

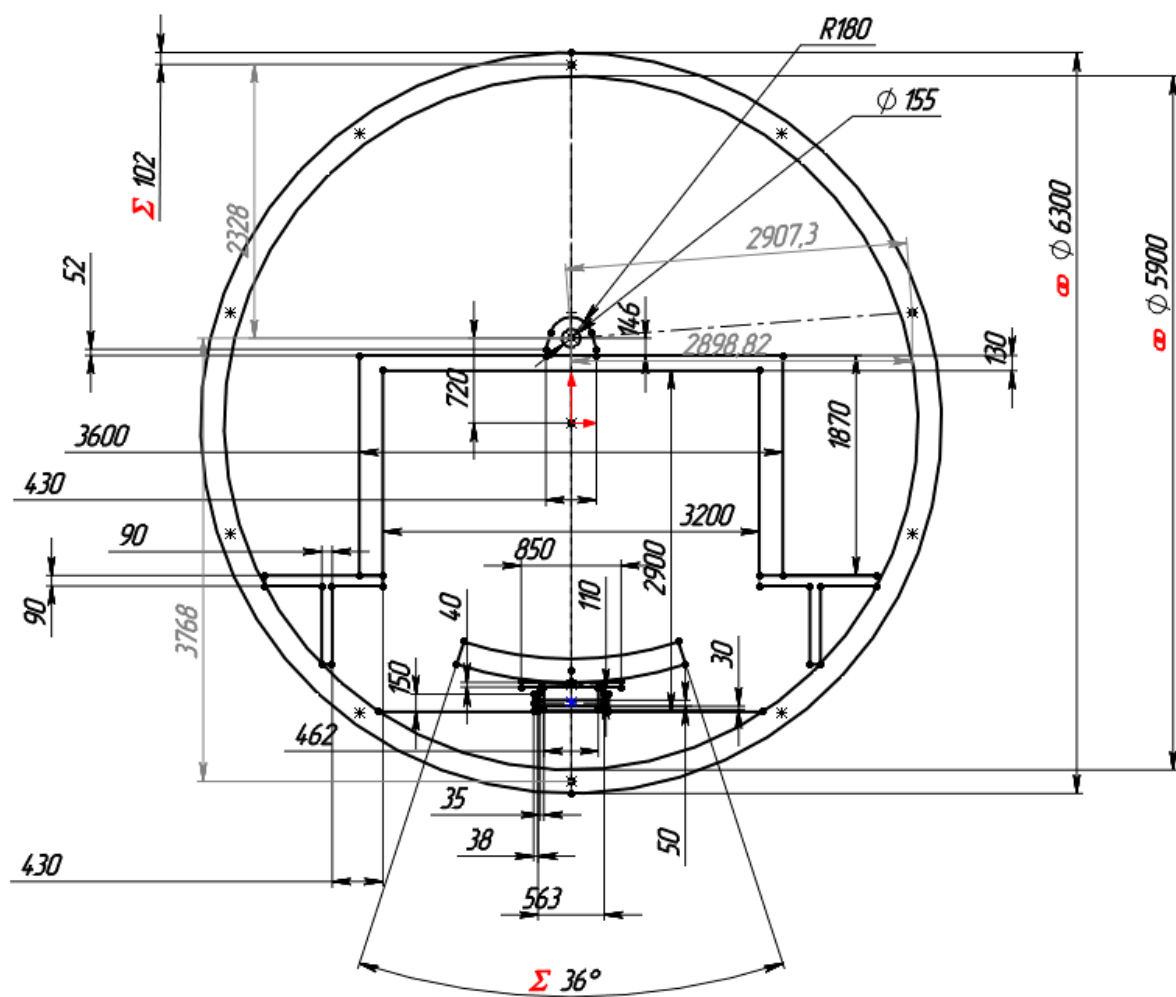


Рисунок 3 – Ескіз 1 (Sketch 1)

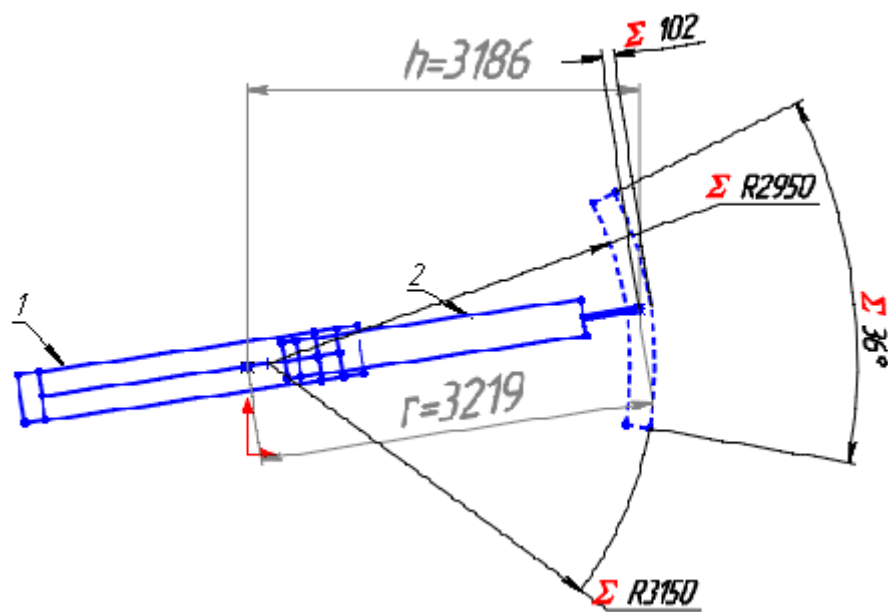


Рисунок 4 – Ескіз 2 (Sketch 2), де 1 – блок корпуса та 2 – штанги

Name	Value / Equation	Evaluates to	Comments
Global Variables			
"Dn"	= 6500	6500mm	Діаметр вироблення
"Dv"	= 6100	6100mm	Внутрішній діаметр оброблення
"n"	= 10	10	Число тюбінгів
"t"	= 22	22	Товщина спинки тюбінга
Add global variable			
Features			
Add feature suppression			
Equations			
"D28@Sketch1"	= "t" + 80	102mm	
"D22@Sketch1"	= 360 / "n"	36deg	
"D5@Sketch2"	= 360 / "n"	36deg	
"D1@Sketch2"	= "Dn" / 2	3250mm	
"D4@Sketch2"	= "Dv" / 2	3050mm	
"D6@Sketch2"	= "t" + 80	102mm	
"D30@Sketch1"	= "n"	10	
Add equation			

☐ Automatically rebuild ☐ Link to external file:
 Angular equation units: Radians
☒ Automatic solve order

Рисунок 5 – Керування рівняннями

Промодельюємо технологію укладки тюбінгів. Для цього переміщуємо блоки на ескізі 2 так, щоб точка захвату збігалася з кожним із семи положень тюбінгів. Значення радіального розміру та плеча заносимо у вигляді компонентів векторів в новий документ програми Mathcad (Див. рис. 8). Далі обчислюємо значення $r_{\min}$, $r_{\max}$, $h_{\max}$ та їх модифікованих значень і ходу – x .

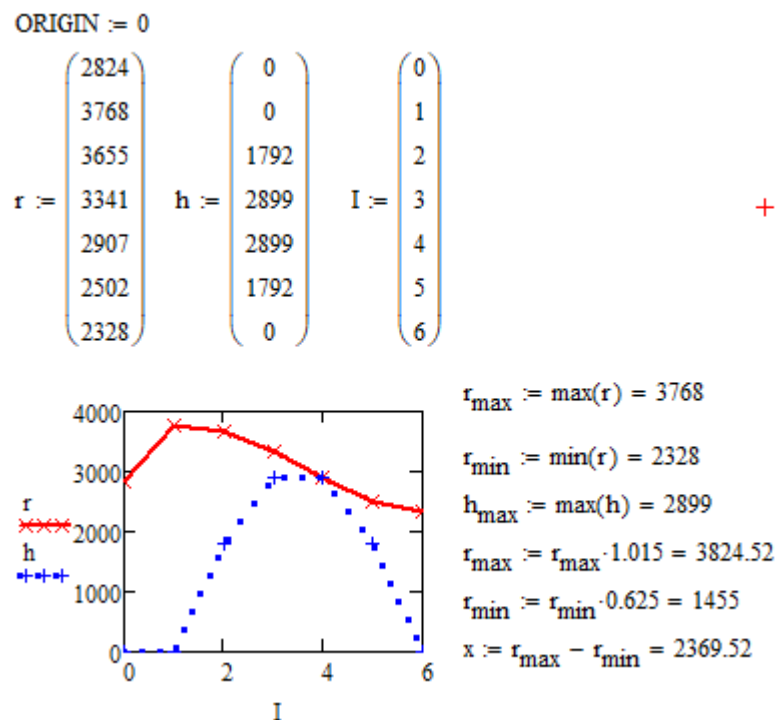


Рисунок 6 – Залежності радіального та горизонтального розмірів осі вантажозахвату тюбінга від центру обертання маніпулятора, та максимальні та мінімальні значення

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

Рис. 9

$$QE = QG - LK + l_r - EC; (4)$$

$$QN = l_k - ND. (5)$$

З наведеної системи рівнянь впливають такі обчислення

$$QG=170 \text{ мм};$$

$$LK=15 \text{ мм};$$

$$LR=115 \text{ мм};$$

$$ND=175 \text{ мм};$$

$$MD=350 \text{ мм};$$

$$EC=455 \text{ мм};$$

$$x=2370 \text{ мм};$$

$$QR=QG+x+LR-LK=2640 \text{ мм};$$

$$QM=QR;$$

$$l_k=MD+QM=2990 \text{ мм};$$

$$QN= l_k -ND=2815 \text{ мм};$$

$$QE=QN+Z=2845 \text{ мм};$$

$$l_r =QE+LK+EC-QG=3145 \text{ мм};$$

$$OD= r_{min}+ND-Z-EC=1145 \text{ мм}.$$

Таким чином, OD дорівнює 1145 мм; довжина корпусу l_k – 2990 мм; довжина штанги (гільзи) l_r – 3145 мм.

Лабораторна робота №2 – Визначення основних розмірів важеля маніпулятора

Задача №3. Перевірка стійкості штока в SolidWorks Simulation.

В SolidWorks створено модель штока (Rod) у вигляді труби довжиною 2988 мм зовнішнім діаметром 90 мм та внутрішнім 62 мм із простої вуглецевої сталі. В SolidWorks Simulation створюємо нове дослідження Buckling (Втрата стійкості). Нижній торець труби жорстко закріплюємо (Fixed).

Розглянемо розрахунковий випадок – дію на верхній торець тиску 2,5 МПа (Pressure) (Див. рис. 10).

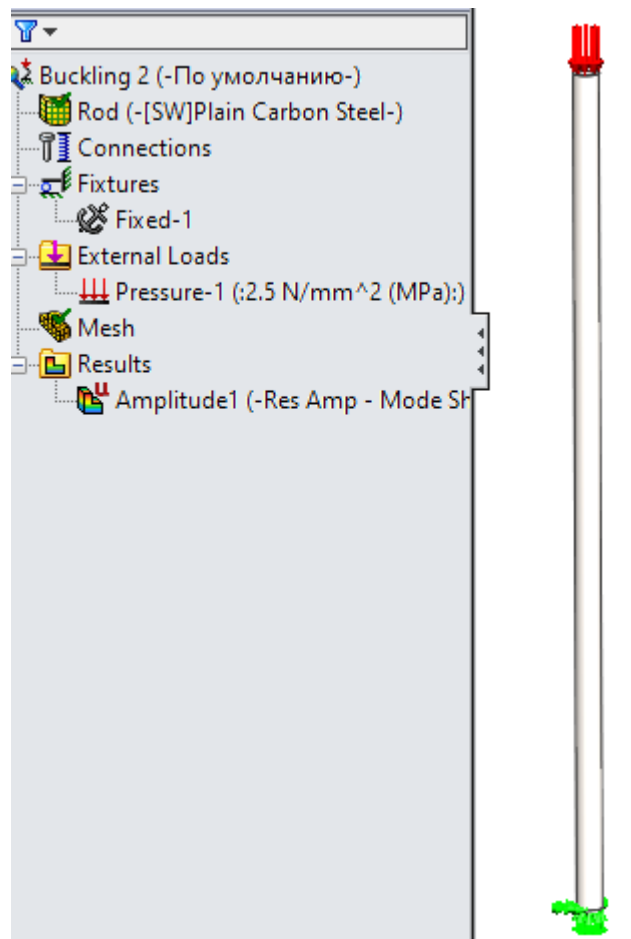


Рисунок 10

Результат розрахунку втрати стійкості наведено на рисунку 11.

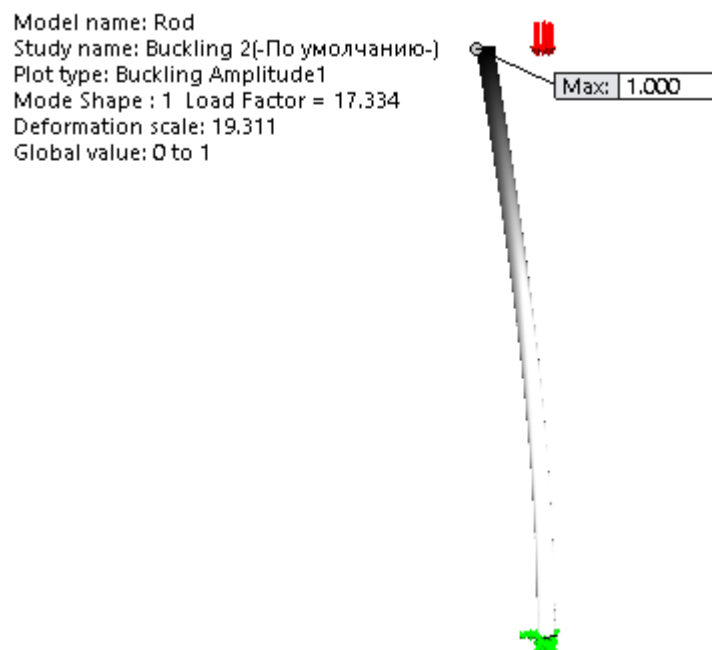


Рисунок 11

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

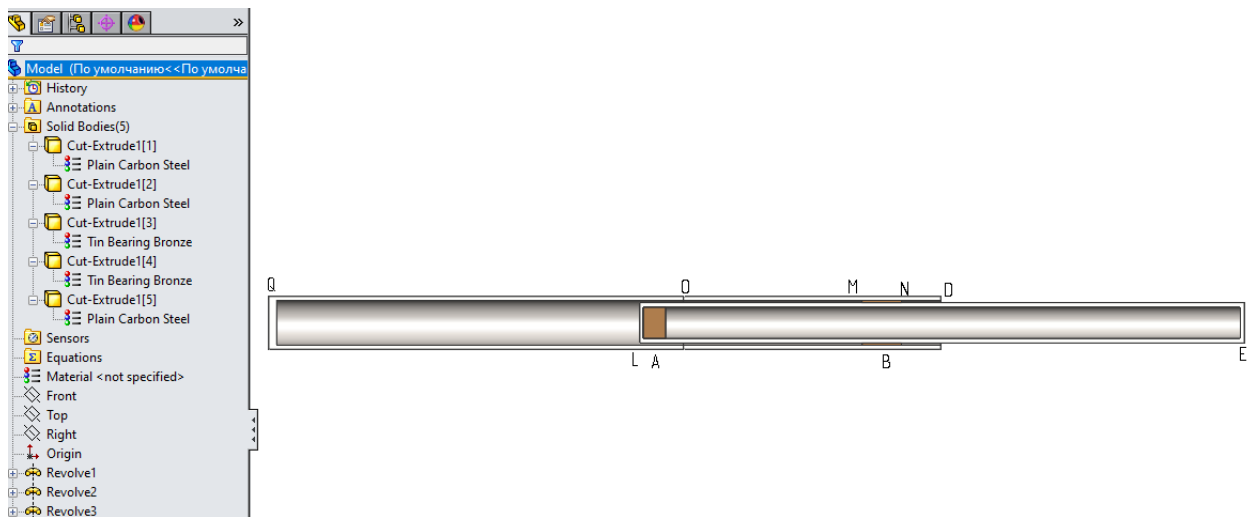


Рисунок 14 – Переріз спрощеної моделі важеля маніпулятора

Створимо нове статичне дослідження (Study, Static) в SolidWorks Simulation. Зробимо невидимим тіло Revolve2, відповідне лівій частині корпусу, та на лівому торці правої частини задаємо граничну умову Fixed (фіксований) (див. рис. 15)

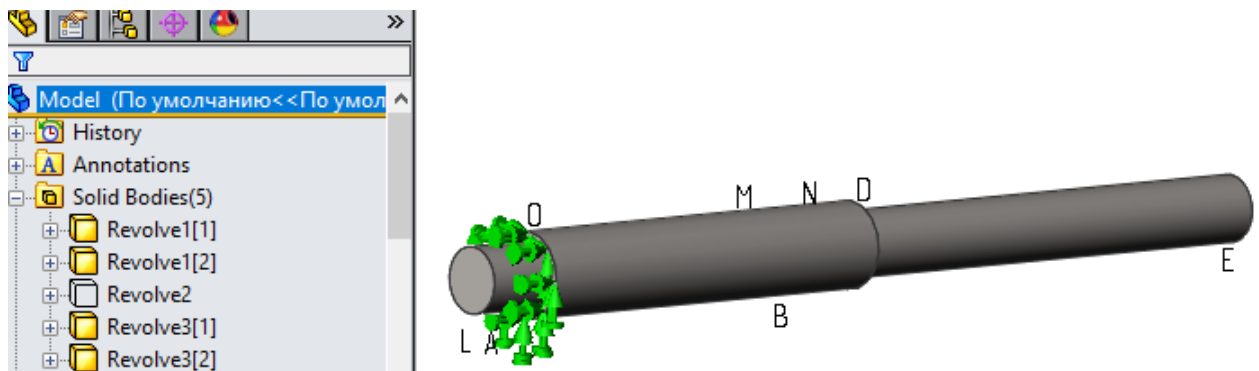


Рисунок 15 – Завдання граничних умов для переміщень

Будемо вважати, що вага наконечника, захвату та тьюбінгу (9778 Н) прикладена в точці С на відстані 455 мм від правого торця штанги. Задаємо навантаження (External Loads) за допомогою інструментів Remote Load (Direct transfer) (віддалене навантаження) (див. рис. 16) та Pressure (тиск) 2,5 МПа (див. рис.17)

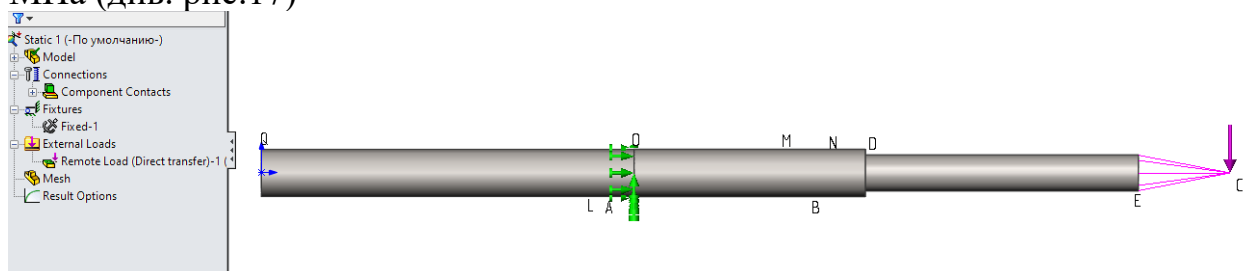


Рисунок 16 – Завдання ваги наконечника, захвату та тьюбінгу

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

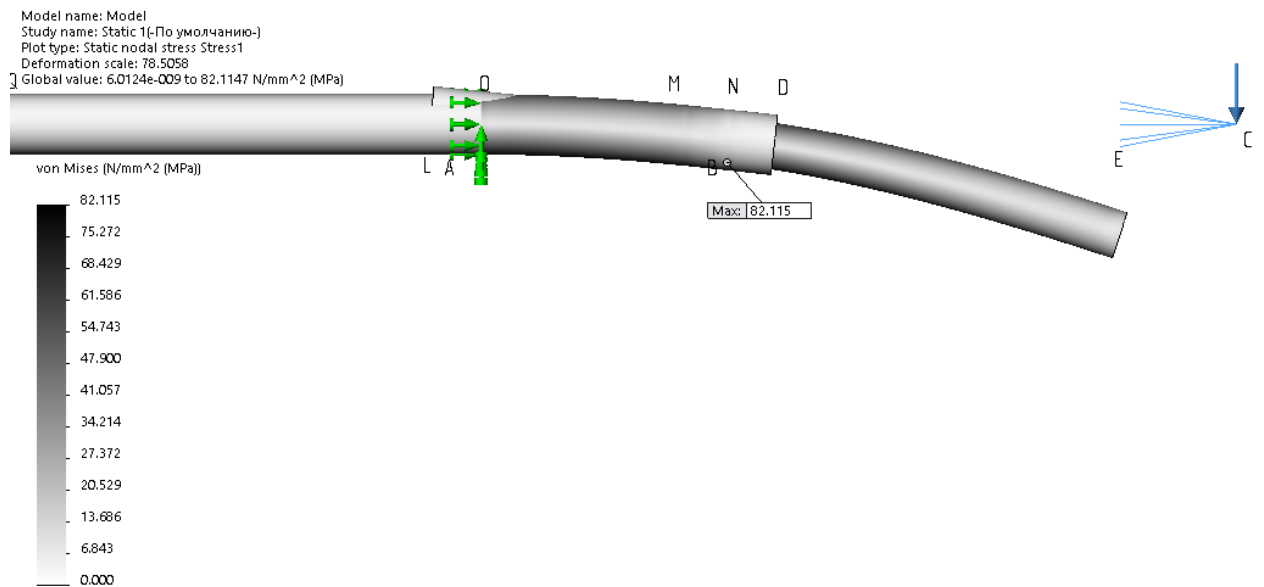


Рисунок 19 – Еквівалентні напруження на поверхні корпусу та штанги

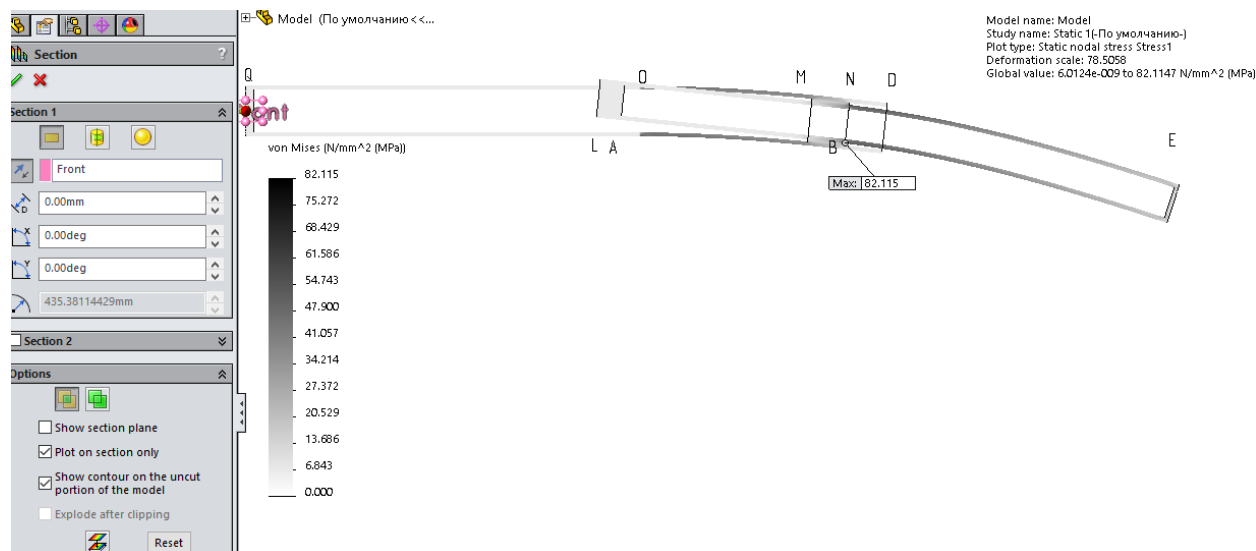


Рисунок 20 – Еквівалентні напруження на поверхні перерізу важеля маніпулятора

З епюр бачимо, що максимальні напруження виникають в точці В на правому кінці валиці і дорівнюють 82,1 МПа. Тобто запас міцності 3,9 більше ніж 3 – запас міцності для гідроциліндрів.

Висновок – конструкція важеля маніпулятора працездатна.

Повна версія документа знаходиться:

- на сервері комп'ютерного класу кафедри ІДМБ
(Read:\Викладачі\Заболотний\МВМТПМ;***
- в групі «МВМТПМ» (програма Microsoft Teams);***
- на дистанційній платформі Moodle
(<https://do.nmu.org.ua/enrol/index.php?id=5841>),***

або надається аспіранту на електронному носії

Навчальне видання

Заболотний Костянтин Сергійович
Панченко Олена Володимирівна
Жупієв Олександр Леонідович

Методи віртуального моделювання технологічних процесів машин

Методичні рекомендації до практичних занять та самостійної роботи для
аспірантів спеціальності 133 Галузеве машинобудування

для аспірантів
освітньо-наукової програми «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Підготовлено до виходу в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19