Практична 3.

**Моделювання технологічних процесів та конструкцій за допомогою програмного середовища SolidWorks**

***SolidWorks*** є конструкторською системою твердотільного пара­ме­т­­ричного моделювання машинобудівних конструкцій спеціально роз­роб­леною для використання на персональних комп'ютерах під управ­лінням операційної системи Windows. Стандартний графічний кори­сту­вальницький інтерфейс Windows і засоби твердотільного параметрич­ного моделювання дозволяють створювати тривимірні моделі деталей, складальні одиниці, генерувати креслення, значно знижуючи терміни проектування і зменшуючи час виходу виробів на ринок.

Програмний комплекс SolidWorks включає базові конфігурації **SolidWorks Standard, SolidWorks Professional, SolidWorks Premium**, а також різні прикладні модулі:

Управління інженерними даними: ***SolidWorks Enterprise PDM***

Інженерні розрахунки: ***SolidWorks Simulation Professional, SolidWorks Simulation Premium, SolidWorks Flow Simulation***

Електротехнічне проектування: ***SolidWorks Electrical***

Розробка інтерактивної документації: ***SolidWorks Composer***

Механообробка, ЧПУ: ***CAMWorks***

Верифікація УП: ***CAMWorks Virtual Machine***

Контроль якості: ***SolidWorks Inspection***

Аналіз технологічності: ***SolidWorks Plastics, DFM*** і ін.

Некреслярські технології: ***SolidWorks MBD*** та ін.

**Можливості окремих підпрограм** ***SolidWorks***.

***SolidWorks Standard*** включає:

Гібридне параметричне моделювання: твердотільне моделювання, моделювання поверхонь, каркасне моделювання та їх комбінацію.

Проектування виробів з урахуванням специфіки виготовлення: деталі з пластмас, листовий матеріал, прес-форми і штампи металоконструкції тощо.

Проектування збірок: проектування «знизу вгору» і «зверху вниз». Про­ектування від концепції. Робота зі складними збірками: SpeedPak – уп­равління продуктивністю системи, відображеннями, конфігураціями, робота з мозаїчними даними, режим скорочених збірок і креслень.

Бібліотеки проектування: єдина бібліотека фізичних властивостей матеріалів, текстур і штриховок. Типові конструктивні елементи, стандартні деталі і вузли, елементи листових деталей, профілі прокатного сортаменту і т. П. Бібліотека стандартних компонентів від постачальників-виробників.

Пряме редагування геометрії: технології Instant3D.

Проектування на основі баз знань: технології DriveWorksXpress.

Експертні системи:

SketchXpert - аналіз конфліктів в ескізах, пошук оптимального рішення.

FeatureXpert, FilletXpert, DraftXpert – автоматичне керування елементами заокруглень і похилів, оптимізація порядку побудови моделі.

Instant3D – динамічне пряме редагування 3D-моделей деталей і зборок, стандартних компонентів.

DimXpert – автоматизована простановка розмірів і допусків в 3D-моделі, а також розмірів в кресленнях, можливість роботи з імпортованою геометрією.

AssemblyXpert – аналіз продуктивності великих збірок, підготовка варіантів рішень щодо поліпшення швидкодії.

MateXpert – аналіз сполучень збірок, пошук оптимального рішення.

Інженерний аналіз: експрес-розрахунки масово-інерційних характер­ристик, кінематики та динаміки механізмів, міцності і аеро / гідродинаміки.

Аналіз технологічності моделі: механообработка, обробка листа, лиття, заповнення прес-форм.

Екологічна експертиза проекту: технології SustainabilityXpress.

Оформлення креслень по ЕСКД.

***SolidWorks Professional***

Включає функціональні можливості SolidWorks Standard, а також:

Бібліотеки стандартних виробів (SolidWorks Toolbox): кріплення, підшипники, прокатний сортамент, кулачки, шківи, ​​шестерні і т. П.) За стандартами ISO, ANSI, BSI, DIN, JIS, CISC, PEM®, SKF®, Torrington® , Truarc®, Unistrut®.

Інтерактивна документація: підготовка даних для ІЕТК[[1]](#footnote-1) - Photoview 360, eDrawings Professional.

Розпізнавання і параметризація імпортованої геометрії: технології FeatureWorks.

Автоматична перевірка і коректування моделей / креслень на відповідність стандартам підприємства (СтП): технології Design Checker.

Порівняння документів SolidWorks: деталі, збірки, креслення: технології SolidWorks Utilities.

Планування завдань (Task Scheduler).

***SolidWorks Premium***

Включає функціональні можливості SolidWorks Standard і SolidWorks Professional, а також:

Проектування трубопроводів (*SolidWorks Routing*): жорсткі збірні трубопроводи (на зварці і різьбі), гнуті трубопроводи, гнучкі підводки і шланги. Формування даних для згинів трубопроводів. Бібліотеки стандартних елементів.

Зворотний інжиніринг (ScanTo3D): перетворення відсканованої хмари точок в 3D-моделі SolidWorks.

Аналіз розмірних ланцюгів в 3D-моделі збірки (TolAnalyst): розрахунок і оптимізація допусків і посадок.

Обмін даними з радіотехнічними САПР (CircuitWorks): двонаправлений обмін даними з радіотехнічним САПР (P-CAD, Altium Designer, Mentor Graphics, CADENCE і ін.).

Інженерний аналіз: *SolidWorks Motion* – комплексний динамічний і кінематичний аналіз механізмів. *SolidWorks Simulation* – розрахунок на міцність конструкцій (деталей і зборок) в пружній зоні.

***SolidWorks Motion*** призначений для розрахунку руху механізмів. Модуль використовує інформацію, що міститься в збірках SolidWorks з можливістю уточнення розрахункової моделі за допомогою його процедур. SolidWorks Motion є третім, найбільш функціональним інструментом SolidWorks, для імітації руху. Перші два рівні: рух збірки і фізичне моделювання, присутні в базовій конфігурації ***SolidWorks Standard***, можуть бути використані для створення кінематичної моделі збірки, імітації руху без отримання чисельних характеристик. Після цього інформація без будь-яких додаткових дій сприймається на рівні SolidWorks Motion.

***SolidWorks Routing*** – модуль проектування трубопроводів. Часто при проектуванні приладів і обладнання виникає завдання створення трубо­про­водів і комунікацій, які б об'єднали компоненти збірок і зробили тривимірну модель завершеною. Включення трубопровідної обв'язки в тривимірну мо­дель виробу дозволяє вирішити багато проблем уже на етапі проектування і уникнути ситуації, коли на етапі монтажу виявляється, що труби неправиль­но зігнуті і заважають роботі інших систем або в існуючій конструкції недостатньо вільного місця для прокладки всіх необхідних комунікацій.

Завдання створення тривимірних моделей трубопроводів виникає при проектуванні приладів і обладнання різних галузей машинобудування, при створенні гідравлічних і пневматичних систем, в нафтогазовій промисловості при створенні трубопровідної обв'язки, а також при проектуванні різних інженерних комунікацій, підводок і шлангів.

Бібліотеки стандартних виробів ***Toolbox SolidWorks*** використовуються для забезпечення автоматичного сполучення стандартних виробів при вставці в збірку та надають можливість групових операцій. Toolbox дозволяє проводити проектувальні розрахунки балок і підшипників. Бібліотеки Toolbox редагуються і налаштовуються під конкретні завдання будь-якого підприємства.

***SolidWorks Simulation*** – універсальний інструмент для розрахунку на міцність конструкцій (деталей і зборок) в пружній зоні. SolidWorks Simulation існує в трьох конфігураціях: власне SolidWorks Simulation, SolidWorks Simulation Professional та SolidWorks Simulation Premium. Однак, навіть в мінімальній конфігурації модуля міцнісного аналізу забезпечується повноцінний статичний аналіз, як деталі, так і збірки з використанням кінцевих елементів твердого тіла, поверхонь і балок. Реалізовано різноманітні контактні умови і всілякі віртуальні з'єднувачі.

Модуль SolidWorks Simulation дозволяє проводити інженерні розрахунки і моделювати різних впливи навколишнього середовища на виріб. Основними можливостями SolidWorks Simulation є: - лінійний аналіз; - втомний аналіз металу; - нелінійний аналіз; - тепловий аналіз; - частотний аналіз; - аналіз виробів з пластмаси і гуми; - динамічний аналіз.

***SolidWorks Flow Simulation*** є модулем гідрогазодинамічних аналізу в середовищі SolidWorks.

Для модуля Flow Simulation немає різниці між геометричними сутностями, створеними в SolidWorks або імпортованими в базовий модуль (наприклад, 3D-моделі з програми КОМПАС).

Модуль Flow Simulation програмного середовища SolidWorks дає можливість моделювання процесів:

- стаціонарні і нестаціонарні течії;

- стискувані і нестискувані (рідини або гази) течії, включаючи до-, транс- і надзвукові режими;

- ідеальні і реальні гази;

- неньютонівські рідини;

- одно- і багатокомпонентні течії без хімічних взаємодій і розділення фаз;

- спільні розрахунки течії рідини або газу та теплопередачі всередині твердого тіла без наявності границі розділення газ – рідина;

- ламінарні і турбулентні течії, враховуючи їх перехід;

- «заморожування» течій для розділення «швидких» і «повільних» процесів;

- течії в пористих середовищах з урахуванням теплопровідності стінок;

- урахування шорсткості стінок;

- зовнішні і/або внутрішні течії;

- конвекційний теплообмін, вільна, вимушена або змішана конвекція;

- радіаційний теплообмін з управлінням прозорістю стінок і розділенням властивостей стінок для теплообміну випромінюванням і сонячною радіацією;

- розрахунок траєкторій твердих частинок і крапель в потоці та ін.

Початковими і граничними умовами можуть задаватися наступні вихідні параметри:

- швидкість, тиск (статичний, динамічний, оточуючого середовища), масові та об’ємні витрати;

- температура, концентрація компонентів, параметри турбулентності;

- витратно-напірні характеристики віртуальних вентиляторів;

- різноманітні типи стінок, включаючи шорсткість, коефіцієнт тепловіддачі і параметри умовного середовища на стінках, що не межують з реальним текучим середовищем;

- джерела тепла (об’ємні і поверхневі), віртуальні тепло вентилятори;

- можливості вказати залежність граничних умов та параметрів від часу та координат;

- симетрія відносно базових площин і періодична симетрія.

Управління обчислювальними операціями виконуються безпосередньо по згенерованій розрахунковій сітці моделі SolidWorks, що створюється автоматично в області твердого тіла. Сітка адаптується в залежності від геометричних характеристик моделі і поля вирішення.

Результати досліду виводяться у вікні SolidWorks. Існує можливість виводу функції на будь-якій площині у вигляді кольорових епюр, векторів та ізоліній, відображення результатів за допомогою ізоповерхонь. За результатами розрахунків можна створювати трирівневі траєкторії; виводити характеристики розрахунків, розподіл будь-якої характеристики вздовж будь-якої кривої в MS Excel.

Розглянемо два приклади:

- застосування підпрограм ***SolidWorks Standard*** для моделювання міцності деталей і пристосувань,

- ***SolidWorks Flow*** Simulationдля гідродинамічного аналізу течії рідини.

**Приклад 1.**

**АНАЛІЗ СТАТИЧНОЇ МІЦНОСТІ ДЕТАЛІ[[2]](#footnote-2)**

***Мета роботи:*** навчитися проводити аналіз статичної міцності деталі: розуміти послідовність проведення розрахунку в CosmosWorks; вибирати для деталі матеріалу з бази даних CosmosWorks; використовувати обмеження і прикладання навантаження до деталі; налаштовувати параметри та хід створення сітки скінченних елементів деталі; формувати звіт за результатами проведеного дослідження.

**1. Короткі теоретичні відомості**

Деталь під дією навантажень деформується, і дія навантажень передається через все тіло. Зовнішні навантаження викликають внутрішні зусилля і реакції, які повертають тіло в стан рівноваги.

За допомогою програми лінійного статичного аналізу розраховують переміщення, напруження, навантаження і реакції від дії прикладених навантажень.

В лінійному статичному аналізі використовуються наступні припущення:

– припущення статичності навантажень. Всі навантаження прикладаються повільно і поступово, поки не досягнуть своїх повних величин. Після досягнення повних величин навантаження залишаються постійними (незмінними в часі). Таке припущення дозволяє нехтувати внутрішніми і демпфуючими силами, що зумовлюють малі прискорення та швидкості. Навантаження, що змінюються в часі та містять значні внутрішні або демпфуючі сили, можуть бути визначені за допомогою динамічного аналізу. Динамічні навантаження змінюються в часі і в багатьох випадках є значними внутрішніми і демпфуючими силами, нехтувати якими не можна.

Важливо перевірити статичне припущення, так як динамічне навантаження може викликати напруження, які складають до 1/(2x) величини напружень., Величина х – коефіцієнт в’язкого демпфування. Для слабодемпфованих конструкцій при демпфуванні до 5% динамічні навантаження будуть в 10 раз більші, ніж статичні. Сценарій найгіршої ситуації проявляється з появою резонансу.

Для розрахунку реакції тіл конструкції, що обертаються з постійною швидкістю або переміщуються при постійних швидкостях, можна скористатися статичним типом аналізу, оскільки навантаження, які прикладаються є незмінними в часі.

- припущення лінійності. Взаємозв’язок між навантаженнями та викликаними реакціями передбачається лінійним. Якщо, наприклад, збільшити в два рази величину навантаження, то реакція моделі (переміщення, навантаження та напруження) також збільшаться у два рази.

На рис. 1, а показано залежність переміщення деталі від зусилля, що прикладається, а на рис. 1.1, б – залежність напруження від модуля пружності при розтягу (стиску).

|  |  |
| --- | --- |
| рис 2 | рис 2 |
| а | б |

Рисунок 1.1 – Залежності, при яких аналіз деталі

вважається лінійним:

а – залежність переміщення деталі від зусилля,

що прикладається, б – залежність напруження від модуля пружності при розтягу (стиску)

Можна приймати припущення лінійності, якщо:

* + всі матеріали моделі підпорядковуються закону Гука, у відповідності з яким напруження прямо пропорційне деформації;
  + викликані переміщення достатньо малі, щоб можна було б знехтувати змінами в жорсткості, викликаними навантаженнями, що прикладаються;
  + граничні умови не змінюються в часі під час прикладання навантажень. Навантаження повинні бути постійними за величиною, напрямком та визначенням. Вони не повинні змінюватися під час деформації моделі.

**2. Хід роботи**

Для виконання цієї лабораторної роботи кожний студент індивідуально вибирає обладнання згідно свого варіанту з додатку А.

Студенту необхідно:

2.1 Виконати ескіз деталі.

2.2 Нарисувати розрахункову схему для деталі (вказати кріплення деталі, діючі навантаження).

2.3 Побудувати тримірну модель деталі.

2.4 Вибрати матеріал для деталі.

2.5 Вибрати тип аналізу.

2.6 Зафіксувати деталь.

2.7 Прикласти навантаження до деталі.

2.8 Налаштувати параметри сітки.

2.9 Створити сітку та запустити розрахунок.

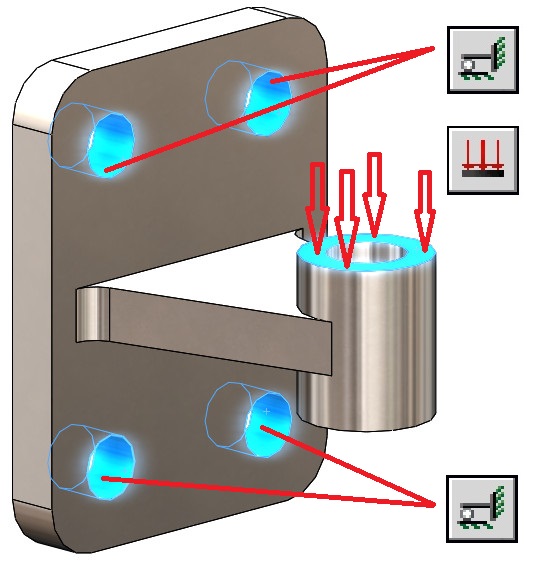
2.10 Почергово вивести на екран отримані результати (напруження, переміщення, деформації).

2.11 Провести оцінку міцності конструкції.

2.12 Створити звіт проведеного дослідження.

**3 Приклад виконання роботи**

Розглянемо порядок виконання роботи на конкретному прикладі, а саме на кронштейні, що виготовлений із легованої сталі та зафіксований по чотирьох отворах. На кронштейн діє тиск 5 МПа (рис. 1.2).



**Рисунок 1.2 – Схема навантаження та фіксування кронштейну**

**3.1 Побудова деталі і вибір матеріалу:**

а) побудуємо деталь згідно завдання.

б) для вибору матеріалу для деталі натиснути **Редактировать материал** [MaterialEditor](vbscript:FlashIt(125062)) (панелі інструментів SolidWorks Стандартна). Появиться діалогове вікно **Материал**.

в) в лівій панелі натиснути на знак "плюс" біля **Материали SolidWorks**, потім на знак "плюс" біля розділу **Сталь** та вибрати **Легированная сталь**.

Механічні характеристики легованої сталі появляться у вікні **Свойства**.

г) вибрати **Применить** і **Закрыть.**

Назва матеріалу з’явиться в дереві конструювання FeatureManager stat1_SwmatOK_PM.

**3.2 Створення дослідження "статичний аналіз"**

Для формування дослідження необхідно:

а) вибрати **новое исследование** [tool_study_main](javascript:FlashCosmosButton(18,'18','Study','Defines,%20modifies,%20or%20deletes%20studies.')) (Диспетчер команд Simulation).

б) у вікні PropertyManager (Менеджер властивостей) в полі **Имя** ввести **Static-1**.

в) у вікні **Тип** натиснути **Статическое** PM_StudyType_Static.

г) натиснути кнопку OK.

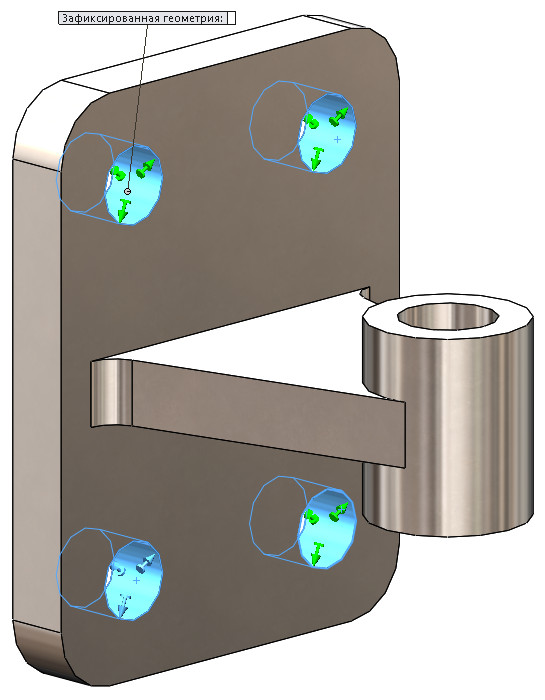
**3.3 Використання обмежень**

Для статичного аналізу необхідно використати достатню кількість обмежень для стабілізації моделі. В даному випадку будуть зафіксовані два отвори, розміщені на основі деталі.

Для фіксування двох отворів:

1. Вибрати стрілку вниз в розділі **Крепления [tool_restraint_loads](javascript:FlashCosmosButton(24,'24','Restraints','Defines%20a%20restraint%20on%20the%20selected%20entities%20for%20the%20active%20study.'))** (Simulation CommandManager) і вибрати **Зафиксированная геометрия** або натиснути правою кнопкою миші на **Крепления** ST_Fixtures в дереві дослідження та вибрати **Зафиксированная геометрия**.  З’явиться вікно PropertyManager **Крепление**.
2. В графічній частині вибрати поверхні чотирьох отворів (рис. 3).

Грань<1> та Грань<2> з’являться у вікні **Грани, кромки, вершины для ограничения** PM_generic_Selection_FEV.



**Рисунок 1.3 – Використання фіксуючих обмежень**

1. Натиснути кнопку OK.

Програмне забезпечення фіксує поверхні двох отворів і створює значок, названий **Зафиксированный-1** в папці **Крепления** в дереві дослідження Simulation.

**3.4 Прикладання навантаження**

Прикладаємо тиск величиною 5 МПа перпендикулярно круговій поверхні кронштейна.

**Для прикладання тиску необхідно:**

1. Натиснути на стрілку внизу в розділі **Внешние нагрузки [tool_External_Loads](javascript:FlashCosmosButton(25,25,'Pressure','Defines%20a%20pressure%20on%20the%20selected%20entities%20for%20the%20active%20study.'))**(Simulation CommandManager) та вибрати **Давление** PM_pressure_valueабо натиснути правою кнопкою миші на **Внешние нагрузки** ST_external_loadsв дереві дослідження Simulation та вибрати **Нагрузка** PM_pressure_value.
2. В PropertyManager на вкладці **Тип** в розділі **Тип** вибрати **Перпендикулярно выбранной грани**.
3. В графічній області вибрати показану поверхню для **Грани для давления** PM_generic_Selection_Planar_faces.



**Рисунок 1.4 – Прикладання тиску до моделі**

1. У вікні **Значение давления** вибрати **МПа** в меню **Единицы измерения** PM_generic_units, потім ввести 5 в полі **Значение давления** PM_pressure_value.

TipЯкщо змінити одиниці вимірювання після введення значення, програмне забезпечення перетворить значення в нові одиниці вимірювання.

1. Натиснути кнопку PM_OK.

Програмне забезпечення прикладає тиск 5 МПа та створює значок з назвою **Давление-1** PM_pressure_valueв папці **Внешние нагрузки** ST_external_loadsдерева дослідження Simulation.

**3.5 Налаштування параметрів формування сітки**

Створення сітки залежить від активних параметрів формування сітки.

**Для того, щоб задати параметри формування сітки необхідно:**

1. В дереві дослідження Simulation натиснути правою кнопкою миші значок **Сетка** ST_assemblyта вибрати **Создать сетку** ST_Create_Mesh або натиснути на стрілку вниз **Выполнить** [tool_run_main](javascript:FlashCosmosButton(20,20,'Mesh','Creates%20solid/shell%20mesh%20for%20the%20active%20study.')) (диспетчер команд Simulation) і вибрати **Создать сетку** ST_Create_Mesh.
2. В PropertyManager (Менеджері властивостей) встановити наступні параметри, а саме у вікні **Параметры сетки** і **Дополнительно** в Менеджері властивостей **Сетки**.

В полі **Параметры сетки**:

* **Стандартная сетка**: вибрано
* **Глобальный размер**: обчислено програмою
* **Допуск**: вычислено программой
* **Автоматический переход**: не выбран

У вікні **группы Дополнительные**:

* **Меню проверки Якобиана** встановити на **4 точки.**
* **Сетка чернового качества**: не выбрано
* **Автоматические попытки для твердых тел**: выбрано
  + **Число попыток**: 3

**3.6 Створення сітки та запуск аналізу**

При створенні сітки програмне забезпечення використовує активні методи створення сітки.

Для створення сітки та запуску статичного дослідження:

1. Вибрати PM_OK, для того щоб прийняти величини.

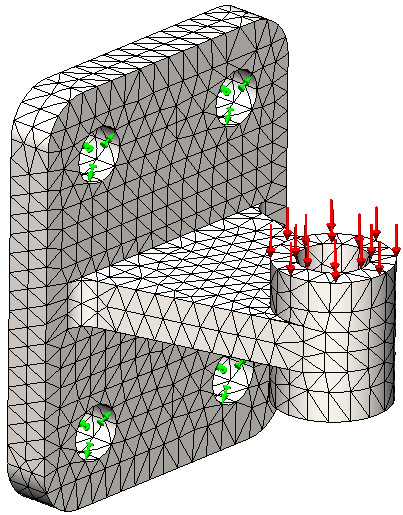
Почнеться процедура створення сітки та відкриється вікно **Процедура создания сетки**. Після завершення процесу розбиття на скінченні елементи, модель з сіткою появиться в графічній частині (рис. 5).

2. Натиснути **Выполнить** [tool_run_main](javascript:FlashCosmosButton(21,21,'Run','Starts%20the%20solver%20for%20the%20active%20study.')) (диспетчер команд Simulation).

Аналіз запуститься, а папка **Результаты** Folder_results з’явиться в дереві дослідження Simulation.

Можливо також відобразити інформацію про сітку:

1. В дереві дослідження Simulation натиснути правою кнопкою миші значок **Сетка** ST__Meshed_Part і вибрати **Сведения**.
2. Закрити вікна списку **Сведения о сетке**.

Для того щоб приховати або показати сітку необхідно натиснути **Отобразить/Скрыть сетку [tool_showhidemesh_main](javascript:FlashCosmosButton(22,22,'Show/Hide%20Mesh','Toggles%20the%20visibility%20of%20the%20mesh.'))** на панелі інструментів Simulation.

**3.7 Перегляд отриманих результатів, а саме напружень за Мізесом**

Для побудови епюри напружень за Мізесом необхідно:

1. В дереві дослідження Simulation відкрити папку **Результаты** Folder_results.
2. Двічі клацнути **Напряжение (-von Mises-)** для відображення епюри.

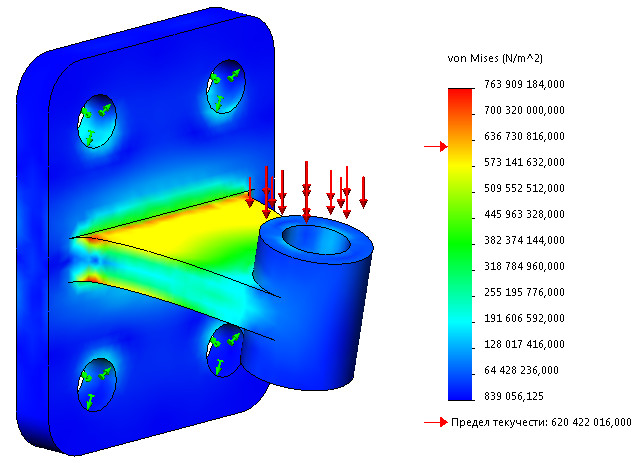
Якщо епюра не існує, створити епюру:

1. Натиснути правою кнопкою миші на папку **Результаты** Folder_results та вибрати **Определить <тип эпюры> Эпюру**.

**Рисунок 1.5 – Модель з сіткою**

1. Встановити параметри в PropertyManager (Менеджере свойств) та клацнути PM_OK.

Епюра напружень створюється на деформованій формі моделі (рис. 1.6).

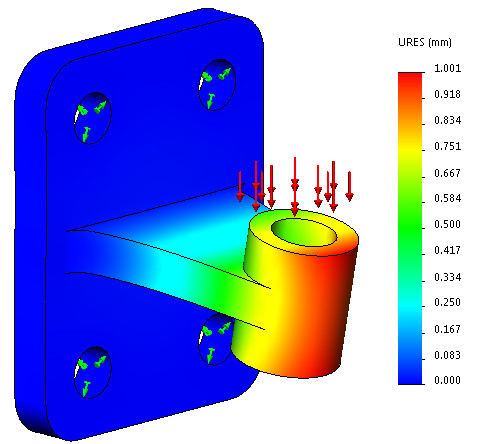


**Рисунок 1.6 – Епюра напружень за Мізесом**

Для показу деформованої форми моделі програмне забезпечення масштабує максимальну деформацію на 10% діагоналі граничної рамки моделі.

TipsДля перегляду епюри напружень в різних системах одиниць вимірювань слід натиснути правою кнопкою миші на значок епюри та клацнути **Редактировать определение**. В розділі **Отобразить** задати **Единицы измерения** необхідної системи одиниць та клацнути PM_OK.

**3.8 Перегляд результуючого переміщення**

Для побудови графіка результуючого переміщення необхідно:

1. В дереві дослідження Simulation відкрити папку **Результаты** Folder_results.
2. Двічі клацнути **Перемещение (-Расположение результата-)** для відображення епюри. Якщо епюра не існує, створити епюру (рис. 1.7).

**Рисунок 1.7 – Епюра результуючого переміщення**

Для анімації епюри результуючого переміщення потрібно:

1. Клацнути кнопкою миші на **Инструменты эпюры** tool_plot_tools(Simulation CommandManager) та вибрати **Анимировать tool_animate_results**.

За замовчуванням анімація відтворюється повторно та безперервно.

1. Натиснути кнопку stopanimation для зупинки анімації.
2. Натиснути **Цикл** PM_animation_loop, потім натиснути playAnimation для запуску анімації.
3. Натиснути кнопку stopanimation, для зупинки анімації.
4. Натиснути кнопку PM_OK.

**3.9 Побудова і перегляд епюри еквівалентних деформацій**

Для побудови епюри еквівалентних деформацій необхідно:

1. В дереві дослідження Simulation відкрити папку **Результаты** Folder_results.
2. Двічі клацнути **Деформация (-эквивалентная-)** для відображення епюри. Якщо епюра не існує, необхідно її створити.



**Рисунок 1.8 – Епюри еквівалентних деформацій**

**3.10 Оцінка міцності конструкції**

Міцність спроектованої та досліджуваної конструкції оцінюється за коефіцієнтом запасу міцності.

Для перегляду розподілу коефіцієнта запасу міцності (FOS) необхідно:

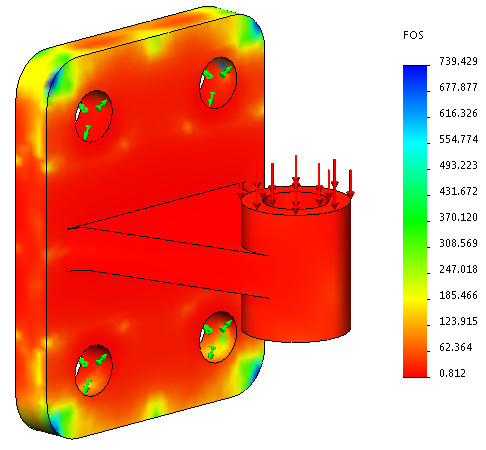
1. В дереві дослідження Simulation натиснути правою кнопкою миші на папку **Результаты** Folder_results та вибрати **Определить эпюру проверки запаса прочности**.

З’явиться вікно PropertyManager **Запас прочности**.

1. У вікні PropertyManager в розділі **Шаг 1 из 3** вибрати **Максимальное напряжение von Mises** у **Критерий** PM_DCheck_criterion.
2. Натиснути кнопку **Далее** DesignCheck_next.
3. В розділі **Шаг 2 из 3** вибрати **Для предела текучести**.

Зверніть увагу, що відображені пружні властивості матеріалу деталі та максимальне напруження за Мізесом.

1. Натиснути кнопку **Далее** DesignCheck_next.
2. В розділі **Шаг 3 из 3**, вибрати **Распределение запаса прочности**.
3. Натиснути кнопку PM_OK.

****

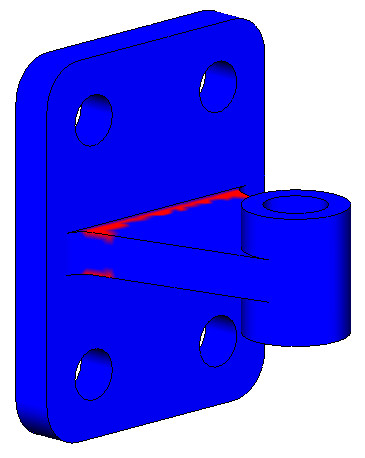
**Рисунок 1.9 – Епюра коефіцієнту запасу міцності**

Для побудови графіку критичних зон деталі:

1. Натиснути стрілку вниз біля параметру **Результаты** tool_Results(Simulation CommandManager) та вибрати **Напряжение**, **Запас прочности** tool_Factor_of_Safety.
2. У вікні PropertyManager в розділі **Шаг 1 из 3** вибрати **Максимальное напряжение von Mises** у **Критерий** PM_DCheck_criterion.
3. Натиснути кнопку **Далее** DesignCheck_next.
4. В розділі **Шаг 2 из 3** вибрати **Для предела текучести**.
5. Натиснути кнопку **Далее** DesignCheck_next.
6. В розділі **Шаг 3 из 3**:
   1. Вибрати **Области ниже запаса прочности**.
   2. Ввести **1** в полі **Запас прочности**.
7. Натиснути кнопку PM_OK.

Зони із запасом міцності меншим 1 (небезпечні зони) будуть відображатись червоним кольором, а зони з більш високим коефіцієнтом запасу міцності - синім кольором (рис. 1.10).

TipsДля кращого відображення критичних зон деталі можна приховати позначення обмежень та навантажень. Для цього натиснути правою кнопкою миші на папки **Крепления** та **Внешние нагрузки** і вибрати **Скрыть все**. Двічі натиснути на значок **Запас прочности** в розділі **Результаты** для того, щоб знову відобразити епюру запасу міцності.

****

**Рисунок 1.10 –** **Графік критичних зон деталі**

**4 Створення звіту дослідження**

Звіт можна генерувати як веб–документ або як документ Microsoft Office.

Для створення звіту:

1. Натиснути **[tool_report_results](javascript:FlashCosmosButton(53,53,'Report','Generates%20an%20HTML%20report%20for%20the%20current%20analysis%20study.'))** (Simulation CommandManager).
2. В діалоговому вікні вибрати **Определения коннектора** в **Включенные сечения** та клацнути report_move_sections, щоб перемістити це в **Имеющиеся сечения**.

Це виключить дійсний переріз із звіту.

1. Повторити пункт 2 для **Результаты сценария проектирования** і **Результаты датчика** для видалення деяких інших перерізів, що не використовуються у звіті.
2. Вибрати **Описание** у вікні **Включенные сечения**.
3. В списку **Характеристики сечения**:
   1. Вибрати **Заметки**.
   2. Ввести в полі **Мой первый отчет**.
4. У вікні **Настройки документа**:
   1. Ввести **Первый отчет** в полі **Название отчета**.
   2. Вибрати **Опубликовать отчет** .

Вибрати **HTML** або документ Microsoft Office.

1. Вибрати **Опубликовать**.
2. Для закриття вікна звіту натиснути closeWnd_btn.

Для того, щоб зберегти модель та аналітичну інформацію документа деталі натиснути **Файл, Сохранить**.

**Приклад 2.**

**Моделювання статичного змішувача[[3]](#footnote-3)**

**Об’єкт моделювання**

Статичний міксер (змішувач) — статичний (нерухомий) [змішувач](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BC%D1%96%D1%88%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%87)

середовищ, який конструктивно являє собою вставку різної конструкції у трубі, по якій подається середовище ([рідина](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%96%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B0), [газ](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7), [пульпа](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%83%D0%BB%D1%8C%D0%BF%D0%B0_(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0))).

Міксери відрізняються один від одного за конфігурацією, довжи­ною, діаметром і набором інших показників, і в цілому дозволяють змішувати великий спектр дво- і багатокомпонентних матеріалів різної в'язкості, густини, хімічної природи і практичного призначення.

Задача статичного міксера — гомогенізувати матеріал, вирівняти градієнт в'язкості і складу, суттєво підвищити [турбулентність](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D1%83%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C) потоку.

В останній час статичні змішувачі все ширше використовуються в ряді галузей промисловості, що обумовлено їх перевагами, зокрема, великою кількістю можливих варіантів конструктивного рішення, відсутністю рухомих елементів, привода, енергоспоживання, можливістю суміщення з гідро- та пнемо-транспортними мережами, а також різноманітністю технологічних функцій, які вони здатні виконувати: змішування газоподібних, рідких і сипучих твердофазних компонентів, диспергування твердофазних компонентів в рідких і незмішуваних рідинах, флокуляція твердої фази в рідинних потоках, інтенсифікація розчинення реагентів у рідинах тощо.

**Приклад моделювання статичного змішувача із за­сто­су­ванням програми КОМПАС та модуля Simulation ресурсу SolidWorks**

У даному прикладі показане моделювання трьох конструкцій статичного змішувача. Мета – отримати ***параметричні поля*** гідросуміші у робочій зоні труби (поле швидкостей, поле завихреності, поле інтенсивності турбулентності, поле масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування) і виконати їх порівняльний аналіз.

Характеристики гідросуміші: густина – 1250 кг/м3, динамічна в’язкість – 0.02 Па·с.

Розташування статичного змішувача в трубі показано на 3D моделі (рис.2.1), одержаній в програмі КОМПАС.

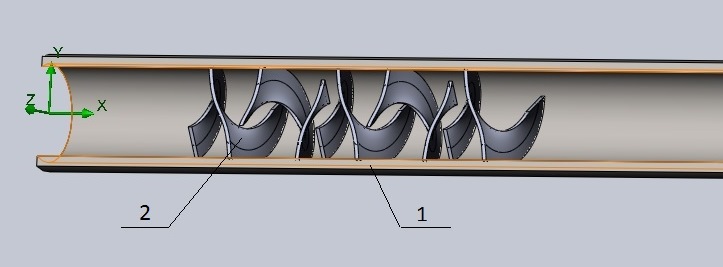


Рисунок 2.1. – 3D-модель конструкції статичного змішувача:

1 – труба; 2 – статичний змішувач.

Розрахуємо такі параметричні поля гідросуміші у робочій зоні труби, яка охоплює власне змішувач і відтинок труби за ним довжиною до 20 діаметрів труби:

- поле швидкостей гідросуміші *v* (м/с);

- поле завихреності *n* (*с-1*) (середня колова швидкість рідини у вихорі потоку);

- поле інтенсивності турбулентності *І* (%):

, (2.1)

де середньоквадратична швидкість турбулентних пульсацій  :

 (2.2)

Середня швидкість турбулентного потоку:

 (2.3)

- поле масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування *lm* (м).

Для отримання моделей зазначених параметричних полів викорис­тано модуль Flow Simulation програмного середовища SolidWorks. Резу­ль­тати досліджень представлені в табл.2.1. Графіки зміни швидкості потоку бурового розчину по довжині трубопроводу (криві *v(L)*) представлені на рис.. Графіки зміни завихреності *п* (с-1) відносно осі труби *L* (м), (криві *п(L)*) представлені на рис.. Графіки зміни інтенсивності турбулентності *І* (%) відносно осі труби *L* (м), (криві *І(L)*) представлені на рис.. Графіки зміни масштабу турбулентностей *lт* (м) відносно осі труби *L* (м), (криві *lт (L)*) представлені на рис..

Таблиця 2.1 – Результати моделювання статичного змішувача за допомогою модуля Flow Simulation ресурсу SolidWorks

|  |  |
| --- | --- |
| Номер дослідження та опис конструкції | |
| **Дослід 1** – Труба Ø114х9 мм, без додатково встановленого статичного змішувача | |
| Модель поля швидкості  11 | |
| Модель поля завихреності  12 | |
| Модель інтенсивності турбулентності  13 | |
| Модель масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування  14 | |
| **Дослід 2** | |
| Труба Ø114х9 мм, з додатково встановленим статичним змішувачем №1 | 15 |
| Модель поля швидкості  11 | |
| Модель поля завихреності  12 | |
| Модель інтенсивності турбулентності  14 | |
| Модель масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування  13 | |
| **Дослід 3** | |
| Труба Ø114х9 мм, з додатково встановленим статичним змішувачем № 2 | смеситель 2 |
| Модель поля швидкості  11 | |
| Модель поля завихреності  12 | |
| Модель інтенсивності турбулентності  14 | |
| Модель масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування  13 | |
| **Дослід 4** | |
| Труба Ø114х9 мм, з додатково встановленим статичним змішувачем № 3 | смеситель 3 |
| Модель поля швидкості  11 | |
| Модель поля завихреності  12 | |
| Модель інтенсивності турбулентності  14 | |
| Модель масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування  13 | |

Одержані результати характеризують картину зміни турбулентності бурового розчину вздовж трубопроводу в місці установки статичного змішувача і в зоні трубопроводу за ним. Як бачимо, оцінки турбулентності, представлені кривими *п(L)*, *І(L)* та *lт (L)* кореспондуються між собою (рис.). Середня колова швидкість рідини у вихорі потоку *п*, інтенсивність турбулентності *І* та масштаб турбулентностей *lт* набувають максимальних значень в місці установки статичного змішувача, а далі зменшуються по довжині труби на відстані до 10 діаметрів труби (10D). Разом з тим, кожен з досліджених різновидів статичного змішувача по-різному впливає на окремі характеристики турбулентності.

|  |  |
| --- | --- |
| Дослід 1 (труба без статичного змішувача) | Дослід 2 (змішувач №1) |
| Дослід 3 (змішувач №2) | Дослід 4 (змішувач №3) |

Рисунок 2.2 – Графіки зміни швидкостей v (м/с) відносно осі труби L(м), (криві v(L))

|  |  |
| --- | --- |
| Дослід 1 (труба без статичного змішувача) | Дослід 2 (змішувач №1) |
| Дослід 3 (змішувач №2) | Дослід 4 (змішувач №3) |

Рисунок 2.3. – Графіки зміни завихреності *п* (*с-1*) відносно осі труби *L (м)*, (криві *п(L)*)

|  |  |
| --- | --- |
| Дослід 1 (труба без статичного змішувача) | Дослід 2 (змішувач №1) |
| Дослід 3 (змішувач №2) | Дослід 4 (змішувач №3) |

Рисунок 2.4 – Графіки зміни інтенсивності турбулентності І (%) відносно осі труби L (м), (криві І(L))

|  |  |
| --- | --- |
| Дослід 1 (труба без статичного змішувача) | Дослід 2 (змішувач №1) |
| Дослід 3 (змішувач №2) | Дослід 4 (змішувач №3) |

Рисунок 2.5. – Графіки зміни масштабу турбулентностей *lт* (м) відносно осі труби *L* (м), (криві *lт (L)*)

Таблиця 2.2. – Максимальні та мінімальні значення параметрів

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | № досліду | Опис конструкції | Max значення | Min значення |
| Швидкість,  *v* (м/с) | 1 | Труба, без статичного змішувача | 4,43 | 4,41 |
| 2 | Зі змішувачем №1 | 4,88 | 1,83 |
| 3 | Зі змішувачем №2 | 15,19 | 3,53 |
| 4 | Зі змішувачем №3 | 15,99 | 3,59 |
| Завихреність,  *п,* с-1 | 1 | Труба, без статичного змішувача | 1,19 | 0,01 |
| 2 | Зі змішувачем №1 | 108,5 | 0,01 |
| 3 | Зі змішувачем №2 | 786,5 | 0,01 |
| 4 | Зі змішувачем №3 | 706,4 | 0,97 |
| Інтенсивність турбулентності  *І* (%) | 1 | Труба, без статичного змішувача | 2,27 | 0,89 |
| 2 | Зі змішувачем №1 | 28,13 | 1,28 |
| 3 | Зі змішувачем №2 | 27,01 | 1,41 |
| 4 | Зі змішувачем №3 | 43,53 | 1,73 |
| Масштаб турбулентностей  *lт,* м | 1 | Труба, без статичного змішувача | 0,0020 | 0,0011 |
| 2 | Зі змішувачем №1 | 0,0053 | 0,0005 |
| 3 | Зі змішувачем №2 | 0,0044 | 0,0004 |
| 4 | Зі змішувачем №3 | 0,0052 | 0,0005 |

Максимальні та мінімальні значення параметрів швидкості *v*, завихреності *п*, інтенсивності турбулентності *І* тамасштабу турбулентності *lт* наведені в таблиці 2.2.

Порівняльний аналіз кривих швидкості *v(L)* показує, що змішувачі №2 і №3 вигідно відрізняються від змішувача №1, дають близькі значення характеристик поля швидкості потоку в трубі. Максимальна швидкість потоку для них знаходиться на рівні 15-16 м/с, мінімальна 3,5-3,6 м/с, що суттєво більше показників для змішувача №1 (відповідно 4,9 м/с та 1,8 м/с), а також у 3,5 рази переважає максимальну швидкість потоку без змішувача.

Аналіз кривих завихреності *п(L)* показує, що найкращі дані демонструє змішувач №2 (максимально 786,5 с-1), дещо гірші – змішувач №3 (706,4), на порядок нижчі характеристики маємо для змішувача № 1 (108,5). При цьому змішувач №2 забезпечує стабільно високу завихреність у трубопроводі на ділянці довжиною 0,5 м. Для інших змішувачів крива *п(L)* має нестабільний пульсуючий характер.

Порівняльний аналіз кривих зміни інтенсивності турбулентності *І(L)* показує суттєву перевагу змішувача №3 (максимально 43,53%) і практичну паритетність результатів для змішувачів №1 і №2 (відповідно 28,13% і 27,01%).

Аналіз кривих зміни масштабів турбулентних завихрень вздовж трубопровода *lт (L)* показує практично однакову картину для всіх трьох змішувачів – діаметр вихорів у турбулентних потоках закономірно зменшується на ділянці після змішувача. Темп цих змін масштабу турбулентності ідентичний для конструкцій №1, №2 і №3.

**Висновки по моделюванню статичних змішувачів**

1. Статичні змішувачі є ефективними пристроями, які дозво­ляють збільшити турбулентність гідросуміші і при цьому мають ряд пе­ре­ваг: зокрема, велику кількістю можливих варіантів конструктивного рішення, відсутність рухомих елементів, привода, енергоспоживання, можливість суміщення з гідро- та пнемо-транспортними мережами.
2. Виконані дослідження роботи трьох конструкцій статичного змішувача неньютонівської рідини з параметрами гідросуміші: густина – 1250 кг/м3, динамічна в’язкість – 0.02 Па∙с. із застосуванням модуля Flow Simulation програмного середовища SolidWorks дозволили одержати параметричні поля гідросуміші у робочій зоні труби, яка охоплює власне змішувач і відтинок труби за ним довжиною до 20 діаметрів труби: поле швидкостей гідросуміші *v* (м/с); поле завихреності *n* (*с-1*); поле інтенсивності турбулентності *І* (%), поле масштабу турбулентностей по довжині шляху перемішування *lm* (м).
3. За одержаними даними кращі технологічні характеристики пе­ре­мі­шування гідросуміші забезпечують змішувачі № 2 і № 3, які реко­мендовані для впровадження в системі приготування гідросуміші на ділянці змішування його з реагентами. Для них максимальна шви­д­­­кість пульпи складає 15,2-16 м/с, завихреність 786-706 с-1, інтен­сив­ність турбулентності 27-43,5%, нтностей (4,4-5,2)·10-3 м.

1. ІЕТК – інтерактивні електронні технічні керівництва [↑](#footnote-ref-1)
2. За Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи моделювання у нафтогазовій галузі» за напрямом підготовки 6.030504 „Нафтогазова справа” усіх форм навчання. Автор-укладач: Дорохов М.А. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – 91 с. (нумерація рисунків збережена авторська) [↑](#footnote-ref-2)
3. На основі досліджень: [Дослідження роботи статичного змішувача в циркуляційних системах промивальної рідини бурових установок. / В. С. Білецький, Ю. С. Міщук, Ю. І. Кузнєцова // Збірник наукових праць ПолтНТУ. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – 2018. – Вип. 1 (50). – С. 197–207](http://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/3882/1/%D0%A1.%20197-207%20%D0%91%D1%96%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9.pdf). [↑](#footnote-ref-3)