

Національний лісотехнічний університет України

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут деревообробних та

комп'ютерних технологій і дизайну

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних технологій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему: Розроблення САПР екструдера 3Д принтера за допомогою SolidWorks
API SolidWorks Simulation

Виконав: студент VI курсу групи КН-6(м)

спеціальності

122 “Комп’ютерні науки”

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Максимів Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., ст.викл Левкович М.В

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Національний лісотехнічний університет України

(повне найменування вищого навчального закладу)

ННІ деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну

Кафедра інформаційних технологій

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 "Комп'ютерні науки"

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Крошній І. М.

“ ____ ” _____ 20__

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Стецюк Олексій Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення САПР екструдера 3Д принтера за допомогою SolidWorks API та SolidWorks Simulation*

керівник роботи _____ к.т.н., ст.викл Левкович М.В. _____

затверджені наказом вищого навчального закладу від “_31_”грудня 2020 року № C-593

2. Термін подання студентом роботи 10 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Формулювання задачі та її формалізація. Аналіз існуючих видів подрібнювачів. Огляд алгоритмів та програмного забезпечення для реалізації технічного завдання.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Стан проблемної області

2. Інформаційне забезпечення

3. Математичне забезпечення

4. Програмне забезпечення

5. Розроблення стартап - проекту

Висновки

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

Слайди доповіді, актуальність теми, постановка завдання, реалізація розробленої 3D-моделі, аналіз отриманих результатів, висновки

6. Дата видачі завдання 18 грудня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	<i>Примітка</i>
1.	Системний аналіз стану проблемної області. Огляд літературних джерел згідно досліджувальної теми.	15.01.2021 р. 02.02.2021 р.	
2.	Постановка задачі і етапи проектування	08.02.2021 р. 16.02.2021 р.	
3.	Побудова 3D- моделі екструдера 3д принтера	07.03.2021 р. 07.04.2021 р.	
4.	Дослідження характеристик та визначення граничних умов, які виникають під час роботи екструдера.	10.05.2021 р. 30.05.2021 р.	
5.	Оформлення записки до дипломного проекту	02.11.2021 р. 02.12.2021 р.	
6.	Задача пояснювальної записки на рецензування	10.12.2021 р.	
7.	Підготовка доповіді	15.12.2021 р. 16.12.2021 р.	

Студент _____

Максимів Ю.В

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Левкович М.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 72 сторінки пояснювальної записки, 74 рисунків, 5 креслень, 1 додаток, 14 джерел.

Об'єкт дослідження – конструкція екструдера, створена для детального аналізу її функціональності за допомогою модулів Simulation та Motion.

Мета роботи – отримати досвід в проектуванні та дослідженні конструкцій екструдерів, як одного із важливих компонентів 3D принтерів, що працюють на технології FDM.

Предмет дослідження - параметри, що впливають матеріалоемність вузлів екструдера.

Практичне значення отриманих результатів На базі отриманих результатів та рішень створено 3д модель екструдера 3Д принтера.

Ключові слова: система автоматизованого проектування, 3Д принтер, екструдер, метод скінчених елементів, філамент, FDM.

SUMMARY

This work contains 72 pages of explanatory note, 74 drawings, 5 drawings, 1 appendix, 14 sources.

The object of research is an extruder design created for detailed analysis of its functionality using Simulation and Motion modules.

The aim of the work is to gain experience in designing and researching extruder designs as one of the important components of 3D printers running on FDM technology.

The subject of research - the parameters that affect the material consumption of extruder units.

Practical significance of the obtained results Based on the obtained results and solutions, a 3D model of a 3D printer extruder was created.

Keywords: computer-aided design system, 3D printer, extruder, finite element method, filament, FDM.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

За допомогою середовища Solid Works спроектувати:

- 3Д модель конструкції екструдера 3д принтера;
- 3Д моделі компонентів системи подачі філаменту.

За допомогою модулів Simulation та Motion виконати:

- дослідити кінематику системи подачі філаменту, підбравши необхідні параметри пружини, сил та взаємодії компонентів конструкції в цілому.
- Проведення термічного аналізу для визначення матеріалів усіх компонентів збірки

Результатом комплексної роботи повинно бути:

- спроектована збірка конструкції екструдера .
- дослідження кінематики руху системи подачі філаменту, моделювання завантаження матеріалу у систему.
- визначені матеріали для основних вузлів екструдера

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

САПР – система автоматизованого проектування;

SW – SolidWorks;

ПЗ – програмне забезпечення;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

CAM – computer aided manufacturing (технології автоматизованого виробництва);

CAD – computer aided design (технології автоматизованого проектування);

CAE – computer aided engineering (технології автоматизованого конструювання)

МСЕ – метод скінчених елементів.

СКЗ – системи керування та захисту

ЗМІСТ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ	10
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	11
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ.....	15
1.1. Що таке технологія FDM?.....	15
1.2. Екструдер – головна складова 3Д принтера.....	16
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	21
2.1. Термічний аналіз SolidWorks Simulation	21
2.2. Модуль SolidWorks Motion	34
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	39
3.1 . Основи метода кінцевих елементів	39
3.2. Дискретизація конструкції	40
2.6. Оброблення результатів	43
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	44
4.1. Проектування збірки екструдера.....	44
4.2.Дослідження кінематики екструдера	53
4.3. Термічний аналіз екструдера	55
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	68
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	72

ВСТУП

Тема тривимірного друку стає все більш популярною, але багато людей все ж не розуміють сам принцип дії цих чудо-машин. Це і не дивно, так як на ринку, в поточний момент надано досить велику кількість пристроїв, які розрізняються своєю будовою, але об'єднує їх одне - можливість створювати тривимірні вироби з самих різних матеріалів.

Щоб підвищити ефективність сучасного виробництва потрібно шукати для цього нові підходи, із врахуванням факторів при виборі обладнання та технологій, який спростять та оптимізують виробництво і цілому. Це можливо втілити завдяки пошуку нових рішень, зокрема впровадження адитивних технологій. Використання адитивних технологій є одним з найкращих прикладів того, як саме нові розробки і прилади можуть покращити традиційні методи виробництва деталей та моделей і задати стрімкий темп розвитку сучасних галузей машино- та приладобудування. Саме впровадження 3D-принтерів в сучасні галузі дозволить значно зменшити витрати та терміни на виробництво тих чи інших виробів.

Одним з ефективних напрямків розвитку адитивних технологій є методи виготовлення деталей на 3Dпринтерах. При цьому точність та якість виготовлення деталей залежить від вибору методу друку і використовуваного матеріалу, а також оптимізації усіх вузлів 3D принтерів.

У наш час 3D принтера стають все більш схожими на своїх двомірних побратимів, звичайний лазерних чи струменевих принтерів. Можливо, в недалекому майбутньому саме вони стануть стандартом як для домашнього, так і промислового використання.

Існує досить велика різноманітність 3d принтерів, кожен з яких працює за певною технологією, найбільш поширені SLA та FDM технології. Десь задіюються фізичні фактори і принципи(FDM), десь хімічні(SLA). Назвати якусь конкретну технологію кращою, ніж інші поки що не можна, тому що кожен тип має свої переваги і недоліки та сфери застосування, а також варто згадати про вартість кінцевого продукту(виробу)

У своїй роботі ми розглянемо принцип дії 3d принтерів, які працюють за технологією FDM - моделювання методом наплавлення та проведемо дослідження конструкції екструдера, як основного елемента у роботі 3Д принтера. Визначимо матеріали основних вузлів екструдера, підберемо параметри елементів подаючого механізму для стабільної роботи під час виконання 3Д друку деталі.

Об'єкт дослідження – конструкція екструдера, створена для детального аналізу її функціональності за допомогою модулів Simulation та Motion.

Мета роботи – отримати досвід в проектуванні та дослідженні конструкцій екструдерів, як одного із важливих компонентів 3Д принтерів, що працюють на технології FDM.

Наукова новизна – поєднання геометричного та імітаційного моделювання для дослідження екструдерів 3Д принтерів.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ

1.1. Що таке технологія FDM?

Неоптимальні швидкості охолодження та затвердіння під час 3д друку можуть негативно вплинути на виготовлені деталі та комплектуючі самого принтера. Оптимізувавши конструкцію 3D-принтера, можна забезпечити високу якість друкованих виробів. Одна з груп дослідників використовувала моделювання, щоб вивчити процес охолодження і температуру екструзії полімерів при 3д друку.

Тривимірний друк, також званий адитивним виробництвом, - це процес створення тривимірних об'єктів, при якому матеріал наноситься шар за шаром знизу вгору. Поширений метод 3Д друку – пошарове наплавлення (FDM), яке застосовується у швидкому прототипуванні. За допомогою методу FD тривимірні моделі створюються за допомогою процесу екструзії. Сам термін FDM - це аббревіатура, що описує процес роботи з певним матеріалом, який використовується у відповідних принтерах. У 3d принтерах, які працюють за такою технологією в якості матеріалу, найчастіше використовується спеціальний термопластик (філамент), який під час нагрівання набуває напіврідкого стану, а після охолодження - затвердіває. Термопластик подається за допомогою екструдера (механізму, який відповідає за подачу матеріалу) на сопло яке шар за шаром створює виріб, саме тому технологія носить найменування пошарового наплавлення.

Більшість нестандартних, наприклад, харчових принтерів працює саме за принципом FDM технології, але з невеликими модифікаціями. З тих же пристроїв, які створені для роботи з їжею, забирається нагрівальна частина і встановлюється додатковий контейнер, який зберігає їстівний наповнювач. На наступній картинці покажемо принцип роботи даної технології(рис.1.1.)

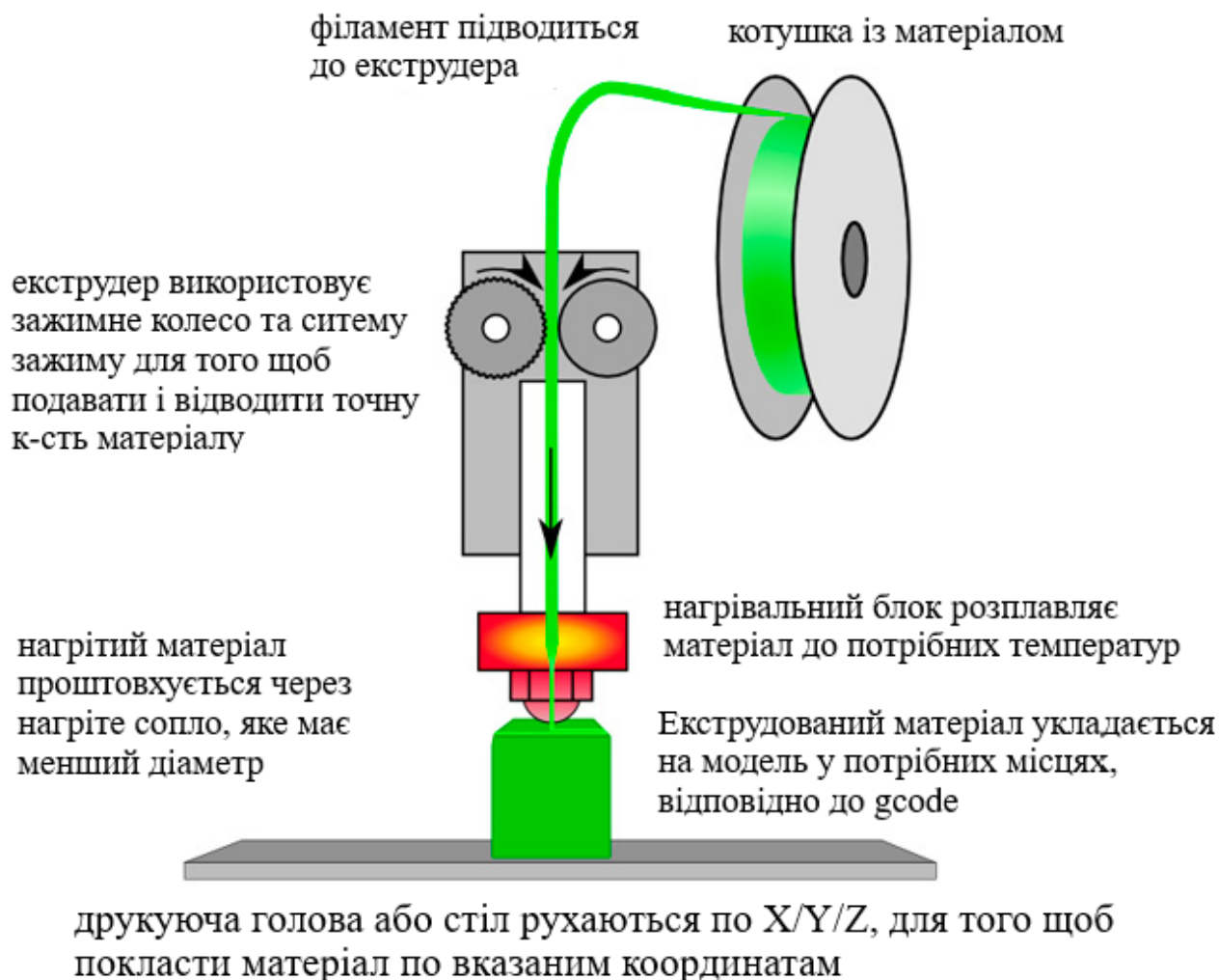


Рис.1.1. FDM технологія

1.2. Екструдер – головна складова 3Д принтера

Саме поняття «Екструдер» застосовується не тільки в проектуванні і створенні 3d принтерів, воно використовується для того, щоб позначити пристрій, який відповідає за подачу розігрітого матеріалу, в разі 3d принтерів - це розпечена нитка(філамент).

Екструдери - це та частина 3d принтера, яка постійно модифікується і доповнюється, для того, щоб розробники змогли використати найрізноманітніші матеріали. Деякі подаючі головки інтегруються в пристрій розжарення

філаменту(інтегрована), інші встановлюються окремо (віддалена) і з'єднуються за допомогою так званих шлейфів та тефлонових трубок по яким подається філамент..



Рис.1.2. Екструдер

Якщо говорити про термінологію, то з визначенням деяких частин 3d принтерів виникають труднощі, так як сама технологія ще відносно молода і не всі визначення мають загальну термінологію. Головне запам'ятати те, що екструдери подають матеріал за допомогою видавлювання (методом екструзії). Сам матеріал укладається шарами до тих пір, поки вони не буде повністю готовий виріб.

Кожен з видів розташування екструдерів, незалежно від того, інтегрована це система або ж віддалена, має свої переваги і недоліки.

Інтегрована система або Direct(рис.1.3.) не потребує створення складної системи подачі матеріалу до самого сопла, тому під час друку рідко виникають які-небудь проблеми, але на відміну від віддалених - інтегровані механізми важчі у вазі і набагато повільніше в роботі.



Рис.1.3. Інтегрована (Direct) система подачі

Ці характеристики помітно знижують саму швидкість друку 3д принтера, але частина часу компенсується простою заміни філаменту, досвідчені інженери проводять заміну безпосередньо під час друку не ставлячи на паузу.

У віддалених же системах для подачі матеріалу(рис.1.4.) до сопла використовуються спеціальні порожнисті трубки (тефлон). Вони забезпечують не тільки постійну подачу нитки на екструдер, але і можуть працювати в зворотному напрямку, якщо це необхідно (режим втягування або редірект). Віддалена система (Bowden) розташування екструдера приводиться в дію за допомогою так званих шлейфів.

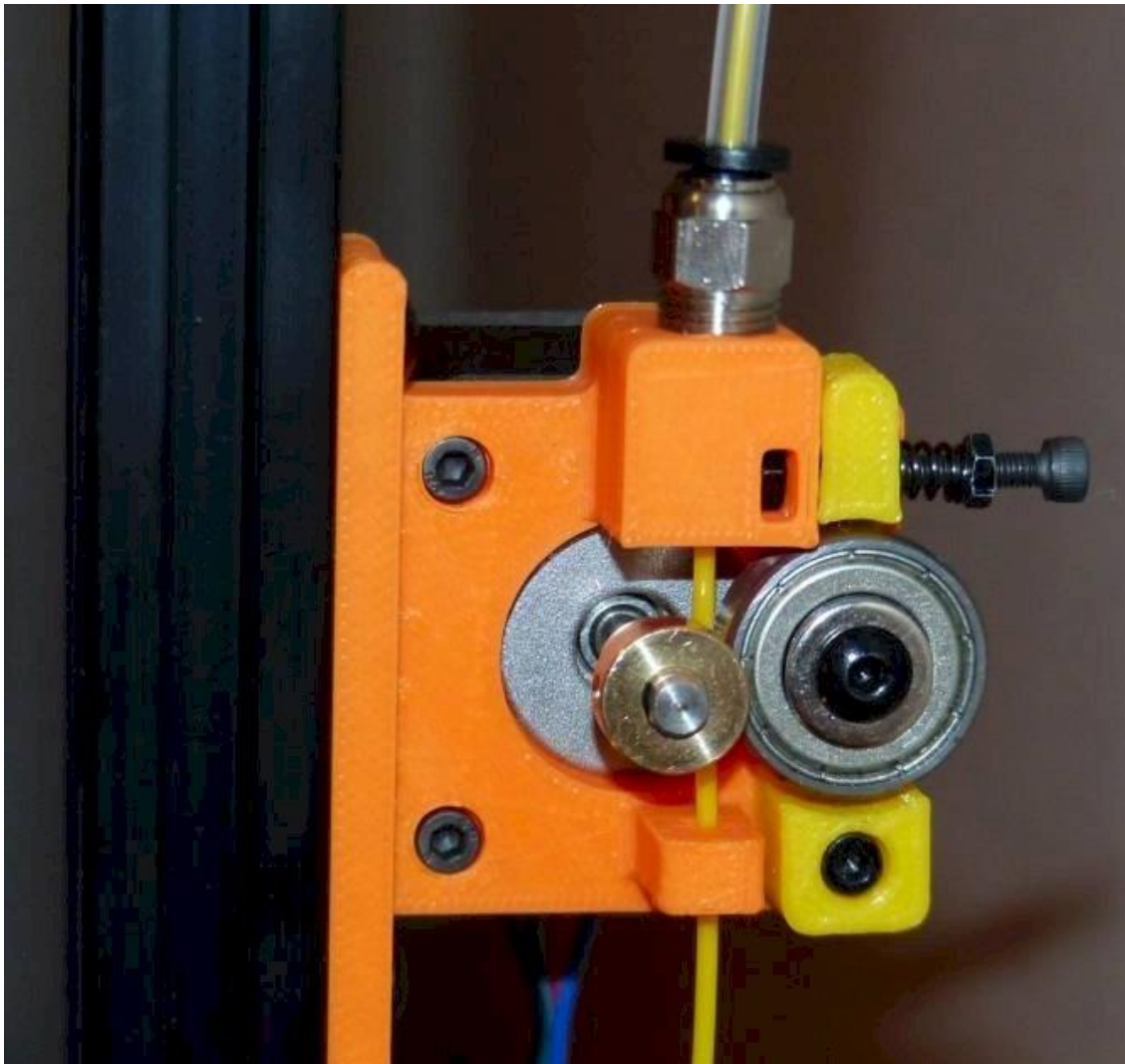


Рис.1.4. Віддалене розташування екструдера(боуден)

Найголовніша перевага віддаленого розташування екструдера - невелика вага, який дозволяє збільшити швидкість друку. Один з найшвидших принтерів , які є на ринку це Ultimaker, як раз-таки використовує саме таку систему розташування екструдера.

Основна проблема порожніх трубок(тефлону) - це велика кількість тертя, що виникає всередині системи подачі матеріалу, в результаті чого можуть виникнути проблеми, пов'язані як з подачею, так і з псуванням самого філаменту.

Ще один недолік такого типу системи - складності, які можуть виникати в процесі заміни філаменту на 3д принтері. Тому перед тим як видалити філамент, необхідно включити нагрів самої голівки. Матеріал, після припинення роботи, остигає і твердне, що викликає утворення закупорки самого сопла. Помилка багатьох початківців користувачів 3д принтерів полягає в тому, що вони

намагаються дістати залишки матеріалу силою, але це категорично не рекомендується, так як можна просто пошкодити друкуючу головку і всю систему. В такому випадку доводиться розбирати усю друкуючу голову і проводити чистку, а в деяких випадках доводиться замінювати навіть сааме сопло.

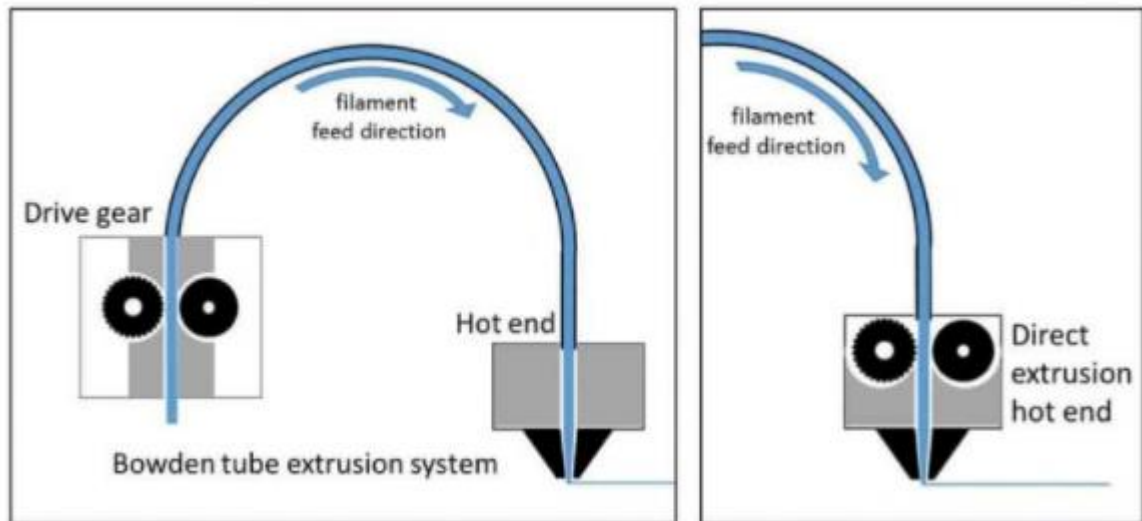


Рис.1.5. Системи подачі філаменту

Отже, яка система подачі краща? Перш ніж вирішити, який варіант використовувати для вашого 3D принтера, слід врахувати деякі важливі фактори. По-перше, стабільність та жорсткість рами. Наприклад, принтери Delta, напевно, не зможуть підтримувати пряму екструзію. Однак якщо у вашого 3D принтера декартова система координат та міцна рама, 3D друк за допомогою Direct екструдера не повинен викликати проблем.

Швидкість є вирішальним чинником. Якщо ваш пріоритет – швидкий та точний 3D друк стандартними матеріалами, екструдер типу Боуден може стати відмінним вибором. Нарешті, ви повинні подумати про матеріали, які ви хочете використовувати для 3D друку. Якщо вас цікавлять гнучкі або абразивні нитки, вам, ймовірно, найкраще підійде механізм прямої екструзії, оскільки дані філаменти мають специфічні параметри друку.

Системи подачі матеріалу постійно вдосконалюються, а ентузіасти 3d спільнот, постійно створюють все нові концепції побудови даних системи. І ми у нашій роботі також будемо досліджувати тип екструдера прямої подачі.

РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1. Термічний аналіз SolidWorks Simulation

Термічний аналіз (Thermal Simulation) надає можливість визначити розподіл температури в тілі 3Д моделі або ж об'єкта під впливом різноманітних механізмів теплообміну:

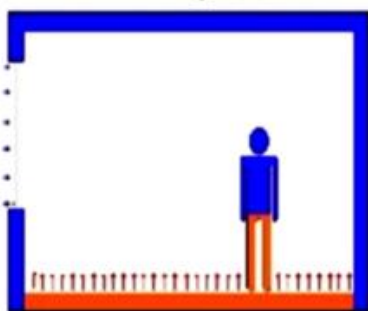
- Теплопровідність
- Конвекція
- Теплові випромінювання

Теплообмін це процес передачі теплової енергії із однієї області в іншу в результаті різної температури кожної із областей.

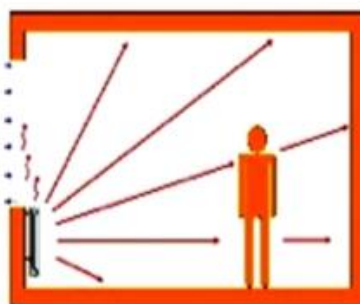
У всіх трьох механізмах теплообміну теплова енергія перетікає із середовища з високою температурою до середовища із меншою температурою. При переносі тепла випромінювання проміжного середовища не потрібно.

Теплопровідність - це процес передачі енергії від одного тіла до іншого або від однієї частини тіла до іншої завдяки тепловому руху частинок. Важливо, що при теплопровідності не відбувається переміщення речовини, від одного тіла до іншого або від однієї частини тіла до іншої передається енергія. Різні речовини мають різну теплопровідність. Наприклад, якщо на дно пробірки з водою, покласти шматочок льоду і верхній її кінець помістити над полум'ям, то через деякий час вода у верхній частині пробірки закипить, а лід при цьому не розтане. Отже, вода, так само як і всі рідини, має погану теплопровідність.

Пряма теплопередача



Випромінювання



Конвекція

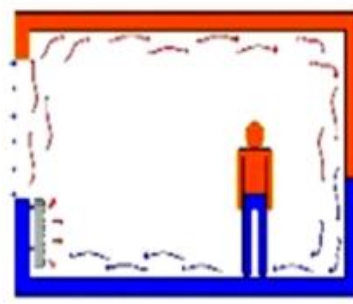


Рис.2.1. Види теплопередачі

Ще більш погану теплопровідність мають гази. Візьмемо пробірку, в якій нічого немає, крім повітря, і розташуємо її над полум'ям спиртівки. Палець, вміщений у пробірку, не відчує тепла. Отже, повітря та інші гази має погану теплопровідність. Хорошими провідниками теплоти є метали, найгіршими — сильно розріджені гази. Це пояснюється особливостями їхньої будови. Молекули газів знаходяться один від одного на відстанях більших, ніж молекули твердих тіл, і значно рідше стикаються. Тому і передача енергії від одних молекул до інших у газах відбувається настільки інтенсивно, як і твердих тілах.

Конвекція. Конвекція – вид теплопередачі, у якому енергія передається шарами рідини чи газу. Конвекція пов'язана з перенесенням речовини, тому вона може здійснюватися лише у рідинах та газах; у твердих тілах конвекція не відбувається.

Випромінювання. Третій вид теплопередачі – випромінювання. Це теплообмін за допомогою електромагнітних хвиль. На відміну від провідності та конвекції, випромінювання не потребує наявності середовища, оскільки електромагнітні хвилі можуть розповсюджуватися і у вакуумі. Наприклад, якщо піднести руку до спіралі електроплитки, включеної в мережу, до електричної лампочки, що горить, до нагрітої праски, до батареї опалення тощо, то можна явно відчувати тепло це і є випромінювання тепла.

Існує два типи аналізу теплообміну за допомогою модуля Simulation:

1. **Стаціонарний термічний аналіз.** При цьому типі аналізу основна увага відводиться тепловому режиму самого тіла, коли воно досягає теплової рівноваги, при тому час, який для цього потрібно не береться до уваги.
2. **Нестационарний(перехідний) термічний аналіз.** При цьому типі аналізу основна увага відводиться тепловому режиму тіла в конкретні проміжки часу.

Оскільки при зміні температури можуть виникати значні напруження в тілі, то за допомогою термічного напруження у модулі Simulation можна розрахувати напруження, навантаження та переміщення, які виникатимуть у результаті

теплових ефектів. Саме дану властивість ми будемо використовувати при дослідженні екструдера, зокрема при аналізі розподілу температури під час нагрівання самого нагрівального блоку.

Термічний аналіз складається із трьох основних стадій(рис. 2.2.):

- Препроцесора стадія
- Процесорна стадія
- Постпроцесора стадія



Рис.2.2. Стадії термічного аналізу

На стадії формування завдання визначаються:

- Параметри геометричної моделі об'єкта термічного аналізу
- Фізико-механічні властивості матеріалу модельованого об'єкта
- Вид термічного аналізу
- Джерела тепла та їх теплова потужність (швидкість передачі тепла)
- Характер зміни теплової потужності у часі
- Спосіб підведення тепла та його розсіювання
- Температура навколишнього середовища

Для термічних досліджень доступні такі види навантажень та обмежень(рис.2.3.):

- Температура
- Конвекція
- Тепловий потік
- Теплова потужність
- Випромінювання

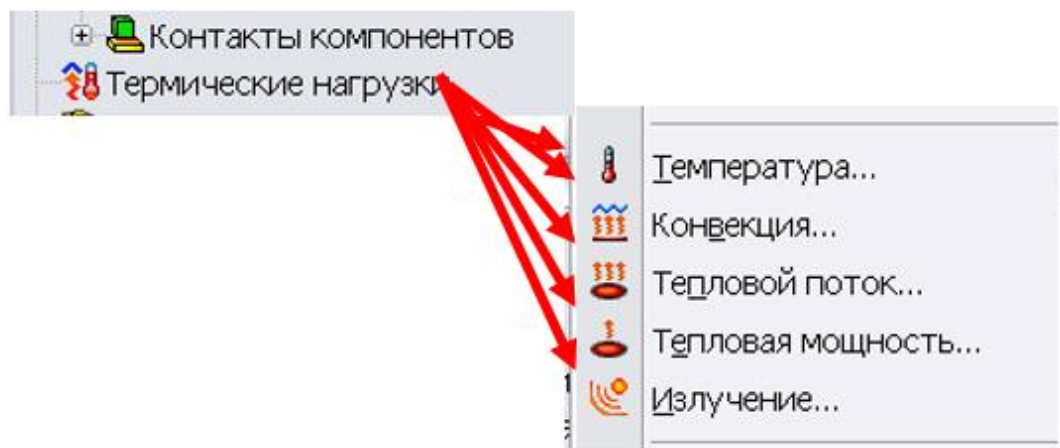


Рис.2.3. Види навантажень та обмежень

Термічні навантаження та обмеження, за винятком температури, яка може бути використана в інших дослідженнях конструкцій, доступні лише для термічних досліджень. Для термічних досліджень у стані з тепловим джерелом повинен бути визначений механізм розсіювання тепла. Інакше аналіз зупиняється, оскільки

температури підвищуються без обмежень. Перехідні термічні дослідження, що запускаються на відносно короткий період часу, не потребують механізму розсіювання тепла.

Для визначення температури в графічній області(рис.2.4) вибираються необхідні грані, кромки, вершини і компоненти, до яких буде застосована задана температура або вибрані всі доступні грані впливу, для їх одночасного вибору.

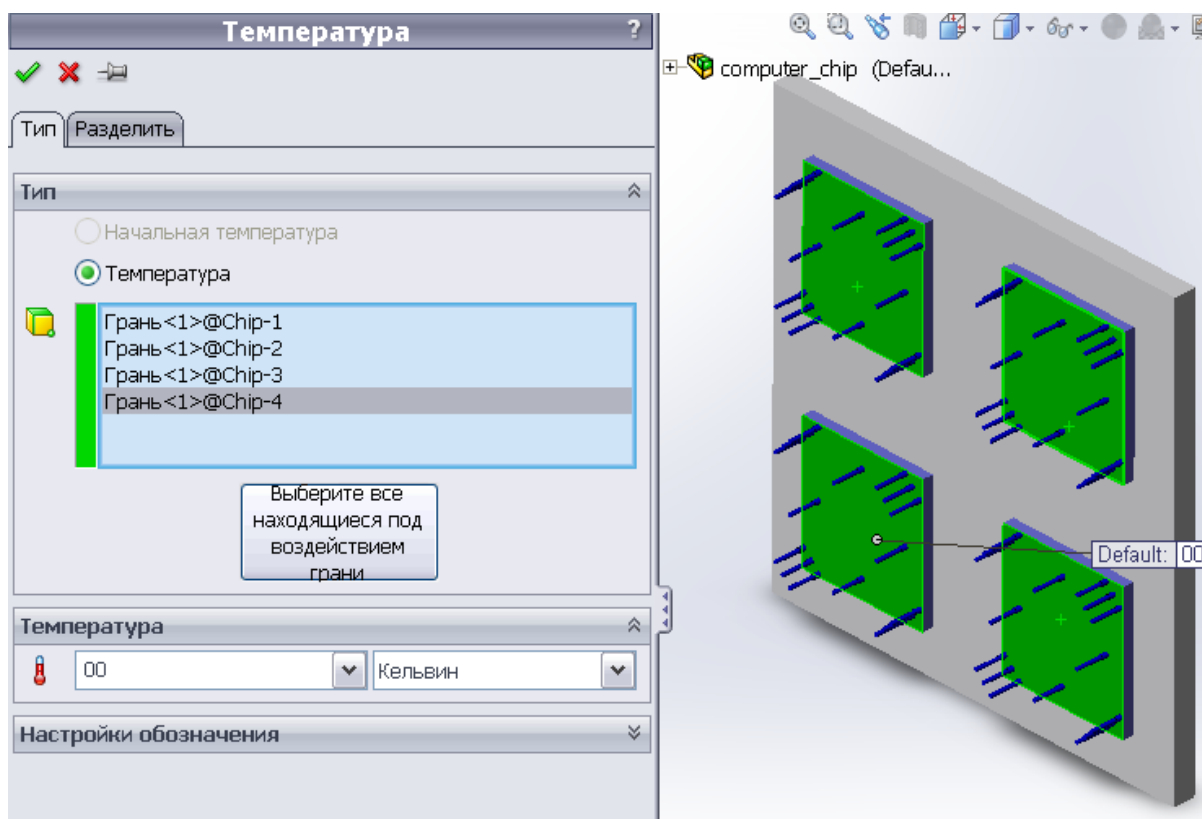


Рис.2.4. Приклад визначення температури для виділених площин.

Опція Конвекція використовується для завдання граничних умов конвекції до вибраних граней моделі в термічному аналізі (статичного та перехідного станів). Користувач може зв'язати криву температури з коефіцієнтом конвективної тепловіддачі для моделювання залежного від температури зміни. У перехідних термічних дослідженнях також є можливість пов'язати криву часу для моделювання залежності від часу коефіцієнта конвективної тепловіддачі і температури. Конвекція задається через коефіцієнт конвективної теплопередачі та температури навколишнього середовища, звісно, якщо дослідження не відбувається у повному вакуумі(рис.2.5.)

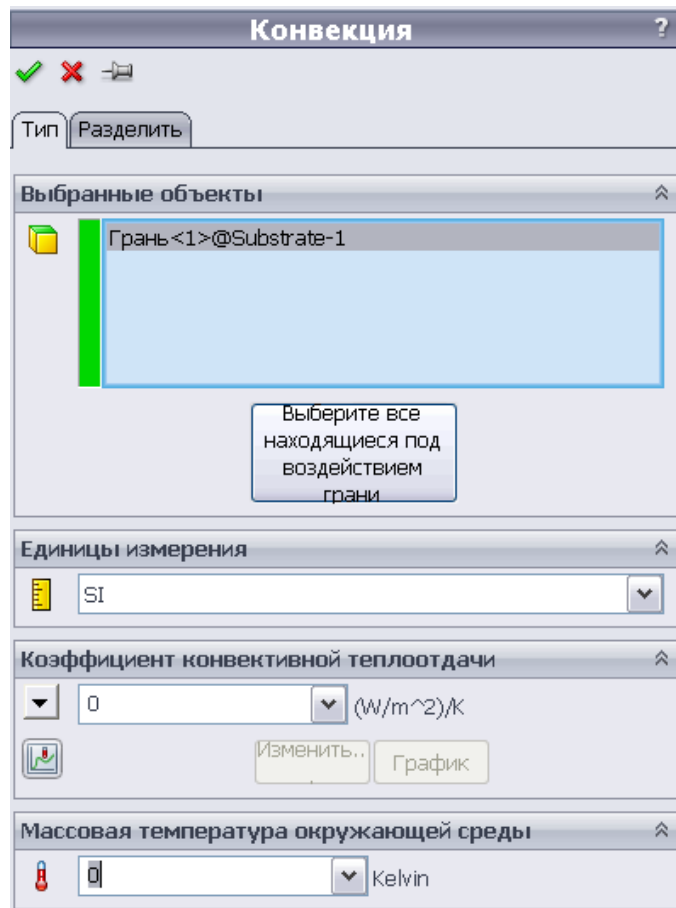


Рис.2.5. Визначення конвекції

Визначення граничної умови теплового потоку. Тепловий потік дозволяє застосувати його до вибраних поверхонь(Рис.2.6). Тепловий потік використовується тільки для термічних досліджень. Для термічних досліджень стану можна визначити тепловий потік, що залежить від температури. Для перехідного термічного дослідження можна визначити залежний від часу або температури тепловий потік і термостат управління тепловим потоком.

Для перехідних термічних досліджень всі визначені теплової потужності теплових потоків можуть контролюватись за допомогою механізму термостата, що визначається необхідним температурним діапазоном в деякій вершині. У дослідженні можна використати кілька термостатів.

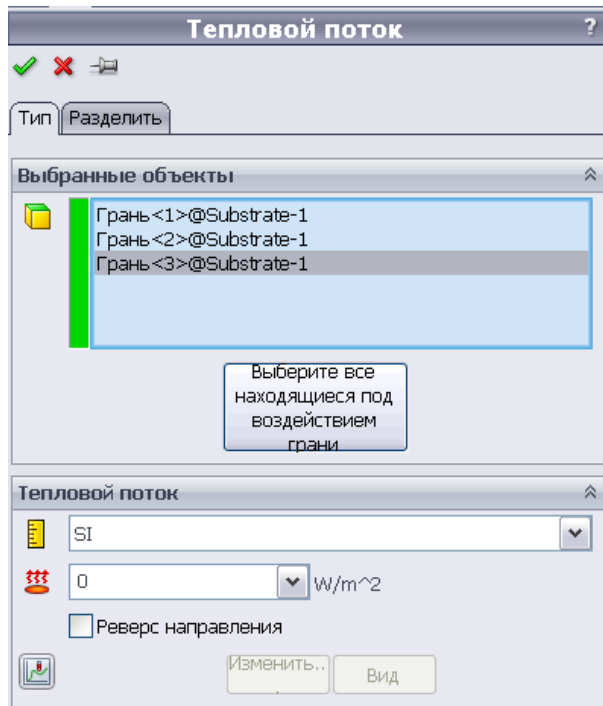


Рис. 2.6. Визначення теплового потоку

Гранична умова теплової потужності дозволяє встановити теплову потужність на вершинах, кромках, поверхнях і компонентах складання (рис.2.7.). Значення теплової потужності може бути позитивним або негативним. Позитивне значення вказує на нагрівання, а негативне значення означає охолодження (поглинання тепла). Теплова потужність використовується тільки для термічних досліджень.

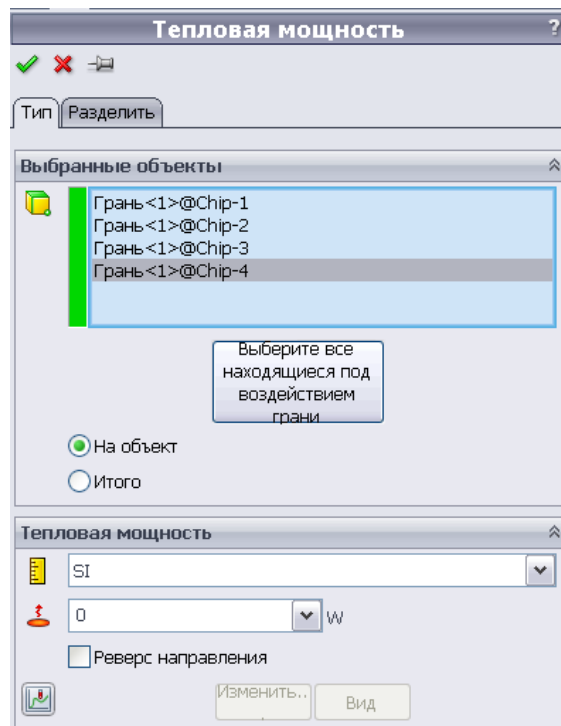


Рис.2.7. Визначення теплової потужності

Гранична умова випромінювання дозволяє задати випромінювання від поверхні у навколишнє середовище або від поверхні до поверхні(рис.2.8.). Випромінювання використовується лише у термічних дослідженнях. При заданні випромінювання від поверхні до поверхні можна враховувати випромінювання у навколишнє середовище (відкрита система) або знехтувати ним (закрита система). Програма обчислює коефіцієнти видимості випромінювання та враховує блокування між вибраними поверхнями. При завданні випромінювання від поверхні до поверхні всі вибрані грані в будь-якому елементі, що випромінює, випромінюють один на одного.

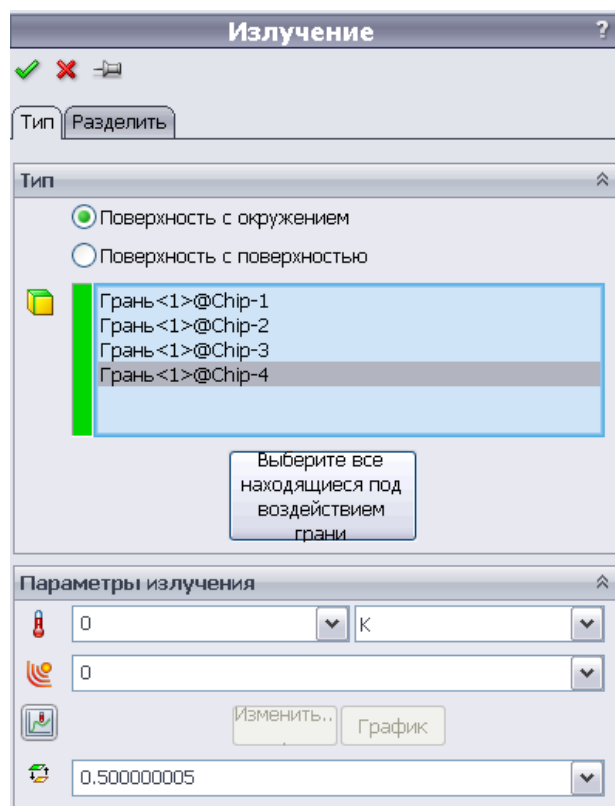


Рис.2.8. Гранична умова випромінювання

Для збірок додатково необхідно визначати умови термічного контакту. Це пов'язано з наявністю у поверхні після механічної обробки шорсткості, відхилень від правильної форми та положення. Тому дві поверхні ніколи не можуть утворити абсолютний контакт. Умови контакту значно впливають тепловий потік, що проходить через області контакту.

Провідність у прикордонній області hc залежить від наступних факторів:

- якість обробки контактуючих граней ;
- матеріал деталей, що контактують;
- тиск, з яким грані притиснуті одна до одної;
- теплофізичні властивості речовини, що знаходиться в проміжках між двома контактуючими гранями.

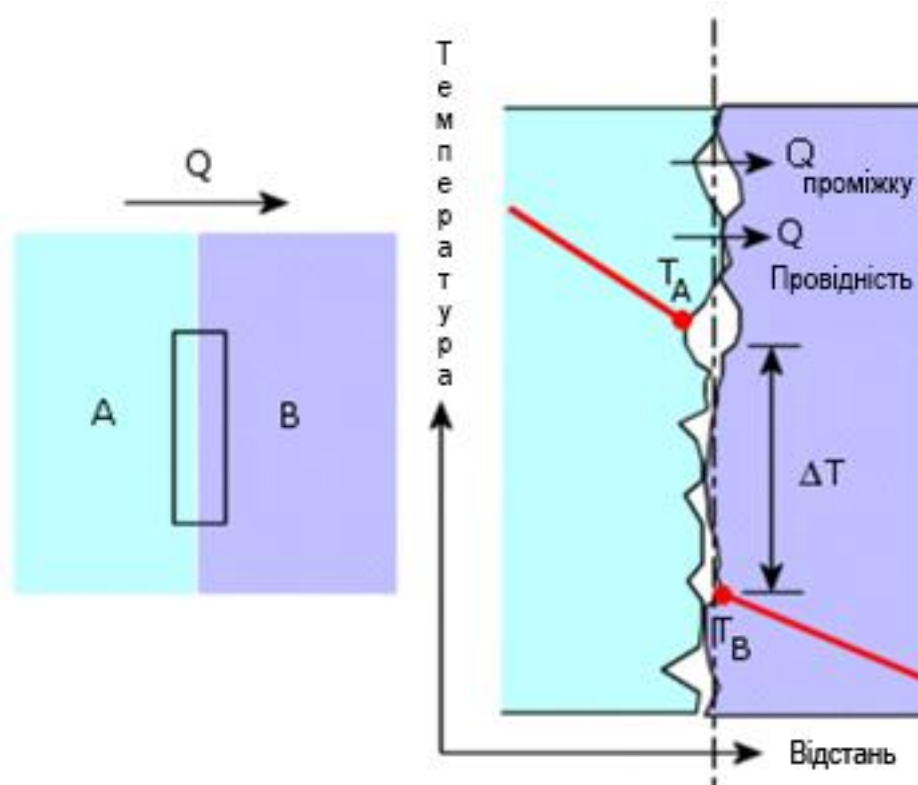


Рис.2.9. Термічний опір

Опір термічного контакту:

$$R_t = 1/(A hc)$$

де A – площа контакту, hc – провідність у прикордонній зоні

Найбільш точні результати аналізу досягаються, коли зазор між двома контактуючими гранями не перевищує розмір сусіднього елемента

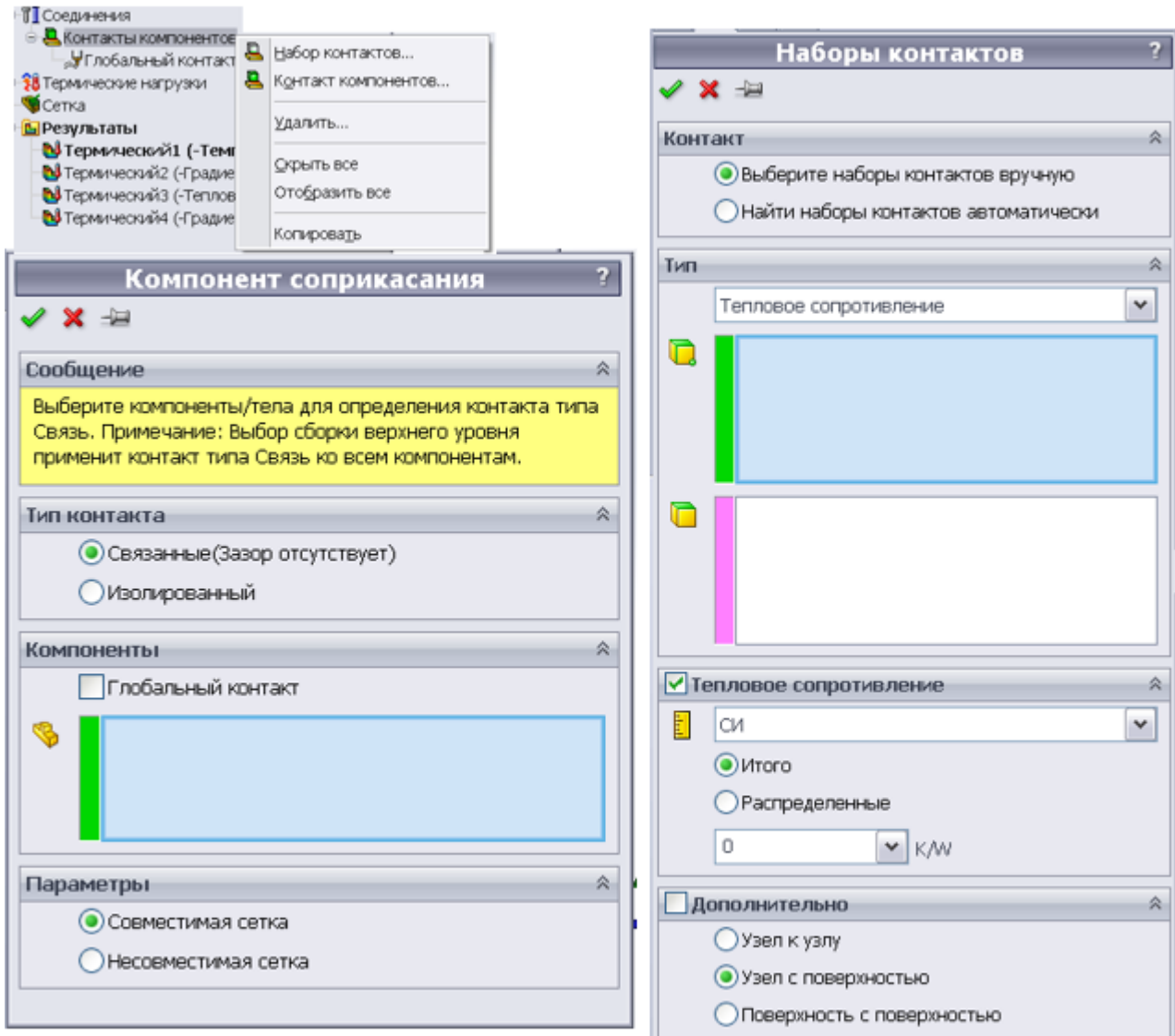


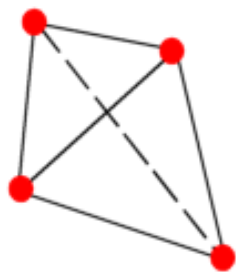
Рис.2.10. Налаштування термічного контакту між гранями

Щоб встановити різні значення термічного опору між великою поверхнею і декількома малими поверхнями, необхідно спочатку розділити велику поверхню на кілька дрібних і тільки потім приступати до призначення опорів термічного контакту для різних пар.

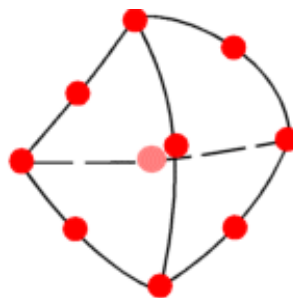
Коли усі початкові та граничні умови визначено переходимо до створення розрахункової сітки. При створенні сітки деталі або збірки деталей модуль створює один із наступних типів КЕ на основі заданих параметрів дослідження:

Сітка низької якості. Створюється автоматично на основі лінійних тетраедральних елементів.

Сітка високої якості. Створюється автоматично на основі параболічних тетраєдальних елементів. Лінійні елементи називаються елементами першого або нижчого порядку, параболічні елементи називаються елементами другого або вищого порядку.



а)



б)

Рис.2.11. Типи кінцевих елементів розрахункової сітки: а - лінійний тетраєдальний елемент являє собою чотири кутових вузли, з'єднаних шістьма прямими кромками; б - параболічний тетраєдальний елемент є чотири основних вузла та шість середніх вузлів і шість кромок.

Управління сіткою полягає у визначенні параметрів елементів сітки в різних областях моделі. Параметрами керування сіткою є:

- розмір елемента сітки для заданих об'єктів;
- співвідношення розмірів елементів сітки.

Менший розмір елемента у вибраній області підвищує точність результатів у цій області. Керувати параметрами сітки можна на вершинах, точках, кромках, гранях і деталях вузлів(рис.2.12).

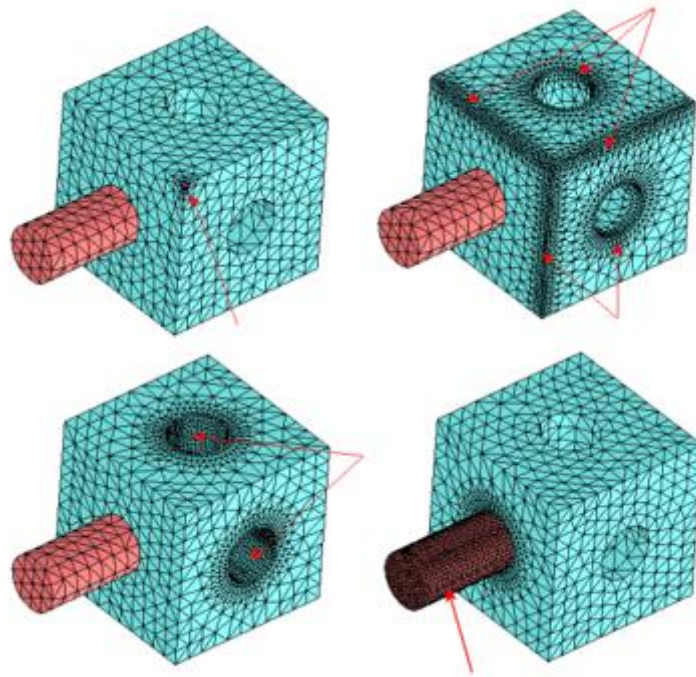


Рис.2.12. Приклад застосування різноманітних налаштувань сітки для одного об'єкту

Діалогове вікно Налаштування термічного аналізу(рис.2.13.) дозволяє вибрати потрібні параметри самого дослідження.

Загальний час - для перехідного аналізу вказується загальний час проведення дослідження (T). За замовчуванням 1,0 с.

Тимчасовий інкремент - вказується збільшення часу (Δt) для кроків вирішення перехідного процесу. За замовчуванням 0,1 с.

Початкові температури для термічного дослідження - використовуються температури з термічного дослідження (статичний або перехідний процес) як початкова умова дослідження перехідного термічного процесу

Вирішальна програма дозволяє задати вирішальну програму, що використовується при запуску дослідження і буде проводити обчислення стану об'єкту опираючись на початкові та граничні умови.

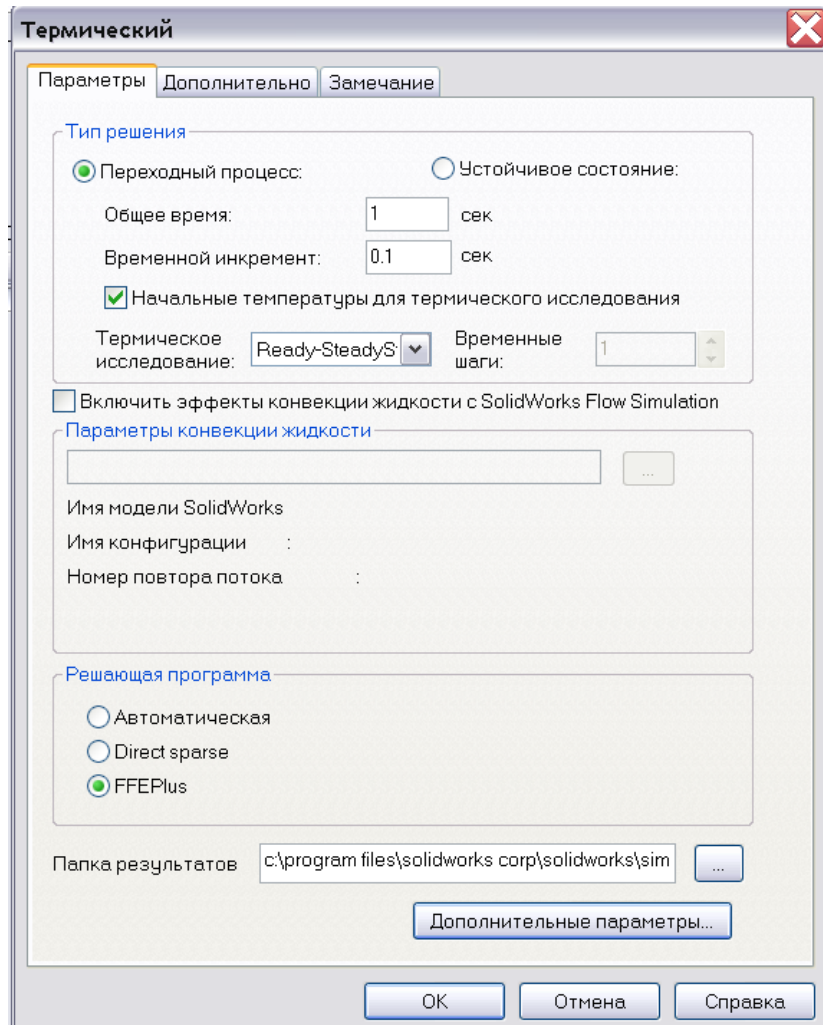


Рис.2.13. Налаштування термічного аналізу

Після запуску дослідження модуль автоматично розраховує результати аналізу, засновані на введених даних про матеріали, обмеження та параметри сітки. В аналізі методом кінцевих елементів задача представлена набором рівнянь алгебри, які повинні бути вирішені спільно. Існує два класи методів вирішення: прямий та ітеративний. Прямі методи вирішують рівняння, використовуючи точні числові методи. Ітераційні методи вирішення рівнянь використовують способи апроксимації, де в кожній ітерації передбачається рішення з урахуванням пов'язаних з ним похибок. Повторні рішення продовжуються доти, поки похибки не стають прийнятними. Програмне забезпечення вибирає вирішальну програму автоматично з урахуванням типу дослідження, параметрів аналізу, умов контакту, ресурсів комп'ютера та інших.

2.2. Модуль SolidWorks Motion

Для розрахунків руху збірки деталей у модулі Motion застосовується повне кінематичне моделювання. Модуль Motion можна використовувати для обчислення сил у моделях із пружинами, демпферами, двигунами та фрикційними муфтами.

Дослідження руху є графічним моделюванням руху моделей збірки. У дослідженні руху можна включити властивості видимості. Дослідження руху не змінюють модель збірки або її властивості. Вони моделюють і анімують рух, зазначений для моделі. Можна використовувати спряження збірки (Mates) для обмеження руху компонентів при моделюванні руху моделі.

Під час виконання дослідження руху можна використовувати MotionManager це інтерфейс на базі тимчасової шкали, який включає такі інструменти дослідження руху: анімація, базовий рух, аналіз руху.

Функцію Анімація можна використовувати для анімації руху збірок (можна додати двигуни, щоб створювати рух для однієї або декількох деталей у збірці; призначити позиції для компонентів збірки в різні моменти часу, використовуючи ключові положення). При анімації використовується інтерполяція для визначення руху компонентів збірки між ключовими положеннями, при тому окрім спряжень компонентів не враховується жодних фізико-механічних властивостей

Базовий рух можна використовувати для створення приблизних ефектів двигунів, пружин, контактів в збірках. Basic Motion враховує масу при розрахунках руху. Даний тип дослідження розраховується досить швидко, щоб ця функціональність могла використовуватися для створення презентаційних анімацій на основі фізичного моделювання.

Аналіз руху можна використовувати для точного моделювання та аналізу ефектів руху елементів (включаючи сили, пружини, демпфери, визначення коефіцієнтів тертя) у збірці. Аналіз руху використовує потужні програми кінематичних розрахунків і враховує в розрахунках властивості матеріалів, а також масу та інерцію. Також можна використовувати цей тип для створення епюри результатів моделювання для подальшого аналізу.

Модуль Motion створено для вирішення завдань теоретичної механіки, отже, для повноцінного розуміння результатів і принципів його роботи продемонструємо основні можливості та надані результати.

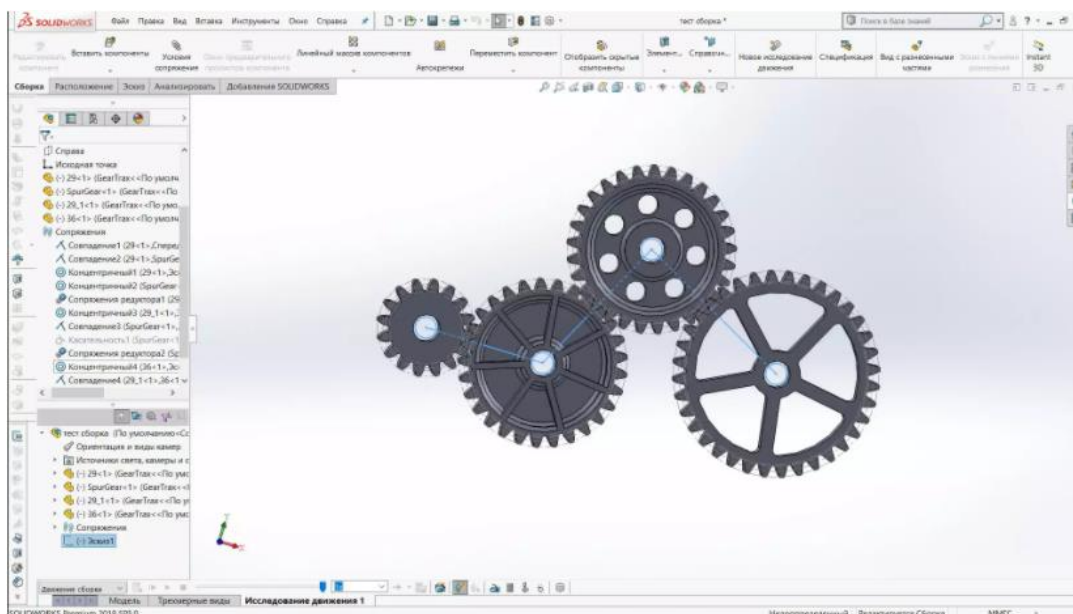


Рис.2.14. Базова анімація Motion

Щоб отримати доступ та можливість обрати усі типи досліджень, які присутні у модулі Motion потрібно активувати повноцінно модуль Motion та модуль Simulation, як це показано на рис.2.15.

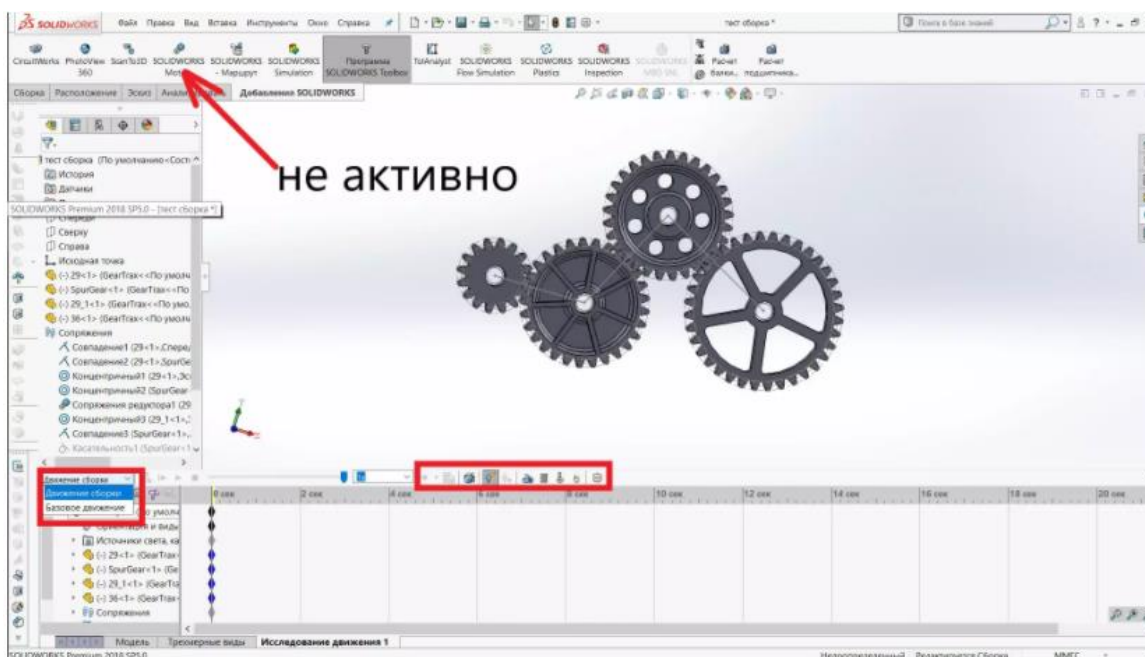


Рис.2.15. Активация режима исследования ruchu

Після активації модулів стане доступним підключення до усіх типів, зокрема до аналізу руху результатів розрахунків модуля Simulation і створення епюр, що описують ті чи інші змінні і характеристики руху збірки(рис.2.16.)

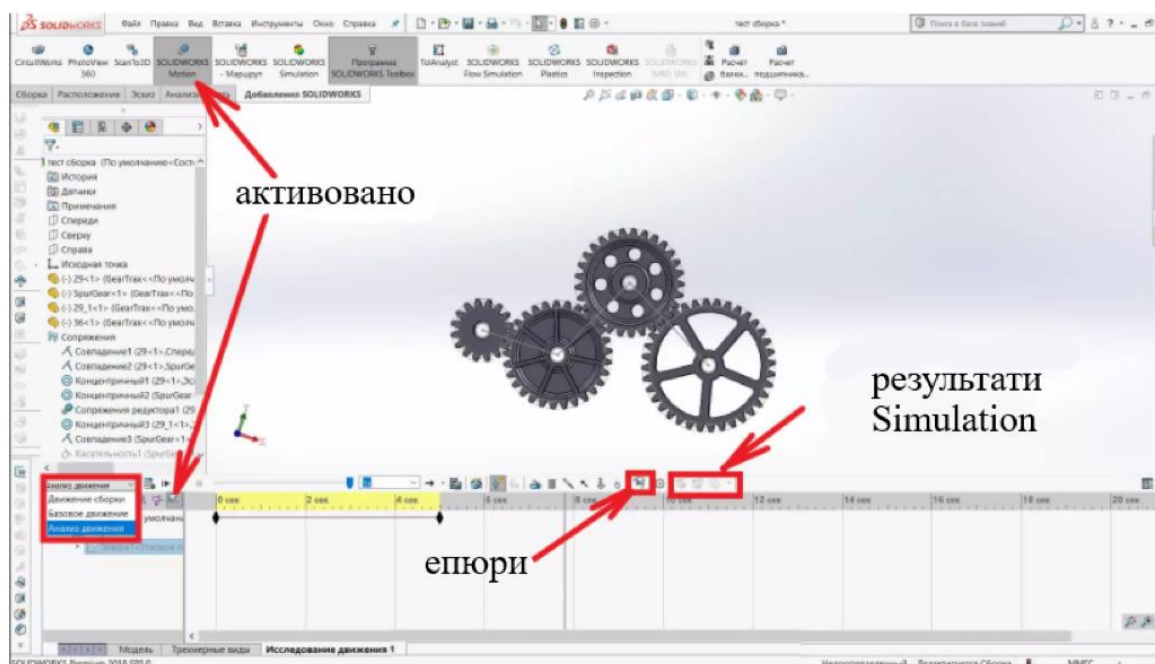


Рис.2.16. Активування режиму аналізу руху

Ключовою відмінністю від звичайного режиму, є те, що стають доступними додаткові елементи, такі як контакт компонентів, які у свою чергу матимуть фізичний вплив і враховуватимуться при розрахунку задач теоретичної механіки(рис.2.17.).

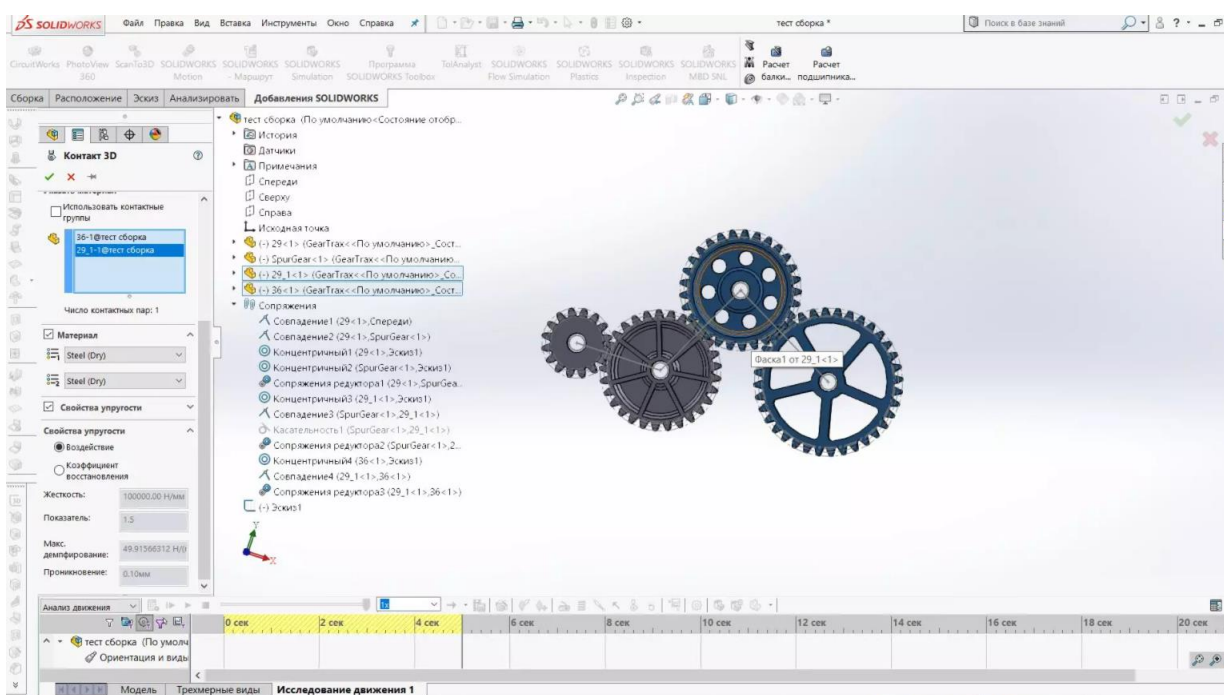


Рис.2.17.Контакти компонентів збірки

Зокрема через визначення властивостей пружності матеріалу, при завданні контакту компонентів(рис.2.8).

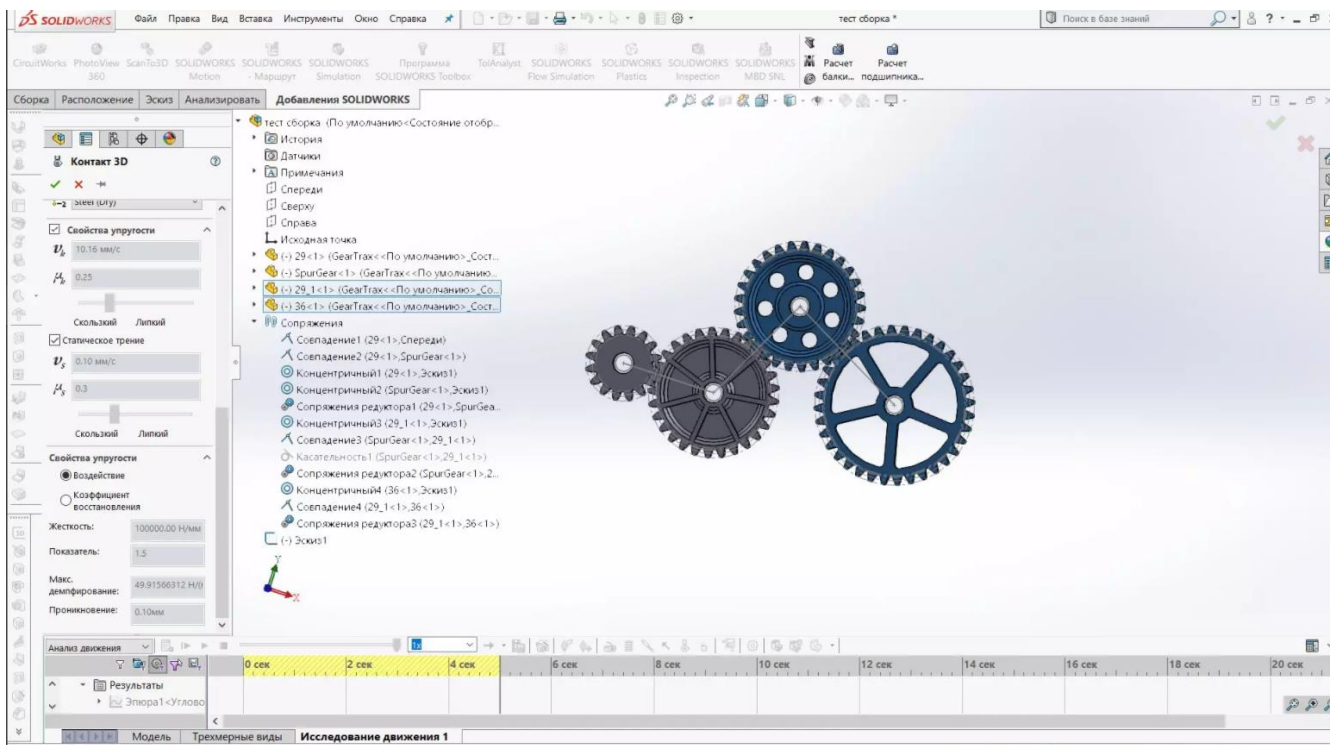


Рис.2.18. Властивості матеріалу

Також і інші задаються характеристики керуючих об'єктів матимуть вплив на побудовані в результаті аналізу епюри.

При цьому зміни параметрів самої анімації відобразатимуться таким же способом, як і при роботі з базовим рухом. Для цього використовуються ключі елементів і дії на часовій шкалі. Після зміни тимчасових характеристик, необхідно провести перерахунок руху, щоб зміни вступили в силу. Також стануть доступними для результатів групи типових задач теоретичної механіки(рис.2.19.).

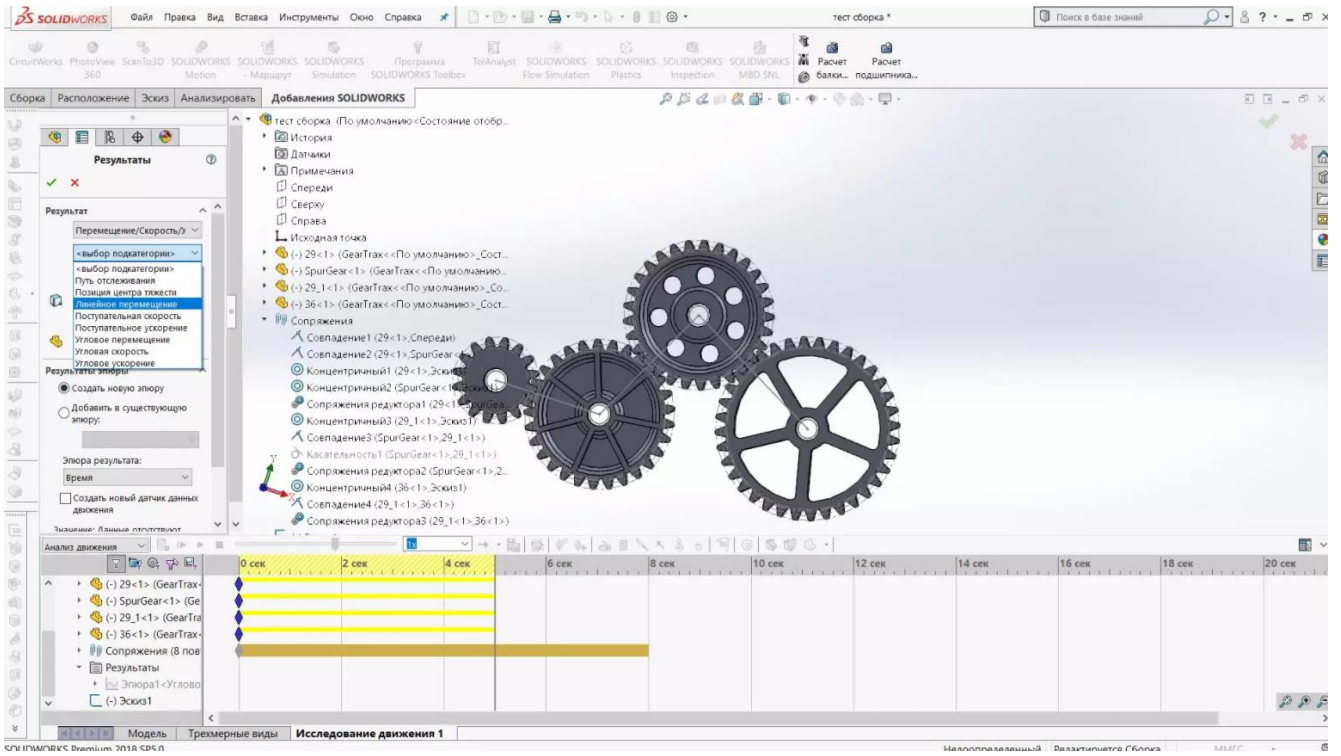


Рис.2.19.Список задач теоретичної механіки, які вирішує модуль Motion

Підводячи підсумки можна сказати, що модуль Motion є функціональним інструментом, який дозволяє проводити дослідження руху в контексті збірок, використовуючи основи теоретичної механіки. Отримувати дані при аналізі збірок існуючих механізмів, за умови достатньої кількості і початкових та граничних умов.

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 . Основи метода кінцевих елементів

Метод кінцевих елементів зародився на початку 20 століття, як метод вирішення задач міцності. У процесі подальшого розвитку з'ясувалося, що цей ефективний інструмент може застосовуватися не тільки для міцності, але і для чисельного вирішення більшості диференціальних рівнянь. Значній популярності методу сприяло розвиток обчислювальної техніки і проста програмна реалізація алгоритму, оскільки розв'язання задачі вимагає вирішення системи лінійних рівнянь великої розмірності. На даний момент існує безліч модифікацій методу, що дозволяють вирішувати завдання теплопровідності, гідродинаміки, механіки, електродинаміки та ін.

Суть методу полягає в розбитті деякої області, в якій параметр, що нас цікавить, змінюється за складним законом, на безліч підобластей, пов'язаних між собою в точках дотику. Закон зміни невідомого параметра у цих підобластях передбачається відомим (наприклад, лінійним чи квадратичним). Цей підхід дуже схожий на процес виміру криволінійного шляху на карті - коли складна крива замінюється набором пов'язаних по кінцях прямолінійних відрізків.

З погляду міцності областю служить обсяг деталі, яку ми хочемо порахувати. Безліч підобластей у цьому випадку – звичайно-елементна сітка (Mesh), що складається з трикутних пірамідок – кінцевих елементів, пов'язаних між собою у вершинах, які називаються вузлами сітки (Node). Невідомим параметром є переміщення кожної точки цієї деталі під дією навантаження. Результатом розрахунку відповідно буде положення кожного вузла сітки, які відповідають реальному переміщенню цієї точки деталі під дією навантаження. Спираючись на ці результати, надалі можна отримати значення деформацій і напруг для кожного кінцевого елемента або вузла.

Для розрахунку розподілу, наприклад, температури в тілах застосовується той же підхід, але як невідомий параметр виступає температура, і результатом є значення температури в кожному вузлі сітки.

З прикладу з виміром шляху на карті очевидно, що менше відрізок ми візьмемо за основу, тим точніше вдасться поміряти довжину шляху. Ця аналогія правильна й у методу кінцевих елементів. Чим менший розмір кінцевого елемента, тим більше точне рішення можна отримати. Однак, при великій кількості кінцевих елементів зростає кількість їх вузлів, а значить і кількість невідомих в задачі. Це призводить до того, що завдання з меншим розміром кінцевого елемента вимагатиме значно більше часу для вирішення. Тому на практиці розмір кінцевого елемента моделі приймають різним – в зонах з різкою зміною параметра розмір елемента роблять менше, а в зонах з незначним градієнтом допускають елементи великого розміру.

3.2. Дискретизація конструкції

Поділ конструкції на зовсім окремі кінцеві елементи є надзвичайно відповідальним та важким етапом розрахунку. Від правильності розділу залежить як і точність розрахунку, так і його значущість. Оскільки дана операція не має за собою теоретичного обґрунтування, то її ефективність повністю залежить від навичок інженера. Використання маленьких елементів хоча й підвищує точність розрахунку, але збільшує кількість невідомих і порядок рівнянь для їх визначення. У зв'язку з цим, слід обирати розміри елементів у залежності з градієнтами тих величин, що визначаються. У місцях, де розшукувана величина міняється швидко, розміри елементів зменшують. У методі кінцевих елементів використовуються елементи різних форм і розмірів. Вибір елемента залежить від характеру самої задачі, від точності розв'язки, яку треба забезпечити.

При заміні конструкції скупченням дискретних елементів надзвичайно важливо забезпечити якнайбільшу відповідність між моделлю і конструкцією. Найпростішими є одновимірні елементи (рис. 3.1). Площа поперечного перерізу елемента може бути сталою по довжині. Найчастіше подібний елемент

зустрічається у розрахунках стержневих конструкцій. Елемент може мати два чи більше вузлів.

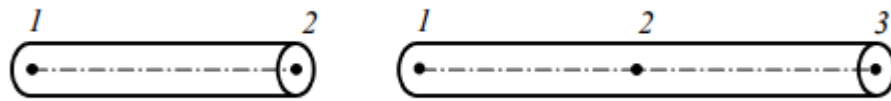


Рис.3.1. Одновимірні кінцеві елементи

Для створення дискретної моделі 2D області користуються двовимірними кінцевими елементами (рис. 3.2). Частіше всього користуються трикутниками і чотирикутниками.

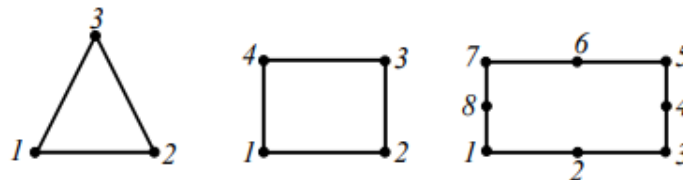


Рис.3.2. Двовимірні КЕ

Тривимірні тіла моделюють через тетраедр і паралелепіпед, як об'ємні кінцеві елементи (рис. 3.3). Для дискретизації віссю-симетричних тіл широко користуються віссю-симетричними кінцевими елементами, створеними обертанням плоскої фігури відносно осі.

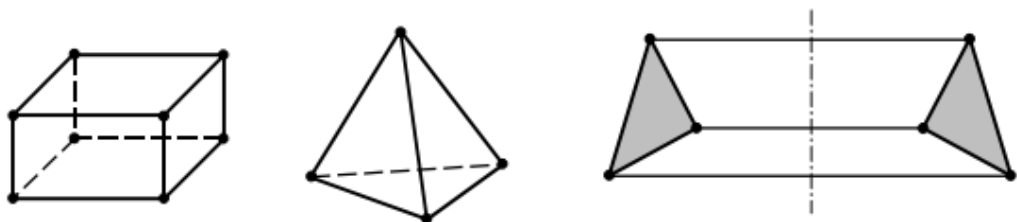


Рис.3.3. Об'ємні кінцеві елементи

Процес дискретизації може бути поділений на 2 етапи: поділ тіла на елементи та нумерація усіх елементів й вузлів. До прикладу, конструкцію ферми (рис. 3.4) можливо розділити на кінцеві елементи – стержні ферми із вузлами у вузлах ферми.

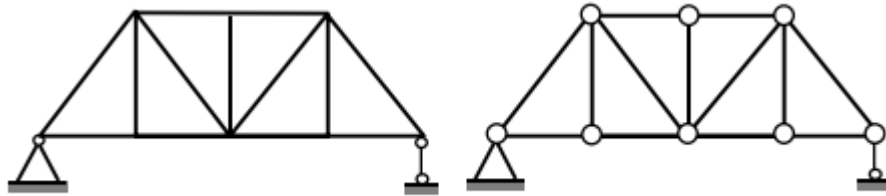


Рис.3.4. Кінцево-елементна модель ферми

Аналізуючи вище описані поради стосовно етапу дискретизації, то ті зводяться до:

1) габаритні розміри таких елементів повинні забезпечувати потрібну точність переміщень й напружень, для чого ті повинні змінюватись у залежності із величиною градієнтів переміщень й напружень;

2) вид елементів, котрий використовується, повинен забезпечити належну роботу конструкції та її кінцево-елементної моделі, а також необхідну точність апроксимації форми й умов закріплення конструкції;

3) нумерація повинна подбати про мінімальну частину глобальної матриці жорсткості. Задля цього нумерація повинна проводитись прямисінько уздовж поперечного перерізу цієї конструкції (рис. 3.5а). А для замкнених контурів нумерація ведеться симетрично відносно першого вузла (рис. 3.5, б).

У наявних програмних комплексах, що використовують МСЕ, у тому числі модулі Simulation та Motion, операція розділення на елементи, зазвичай, автоматизована. Для цього користуються різними методами побудови сітки на поверхні чи в об'ємі конструкції.

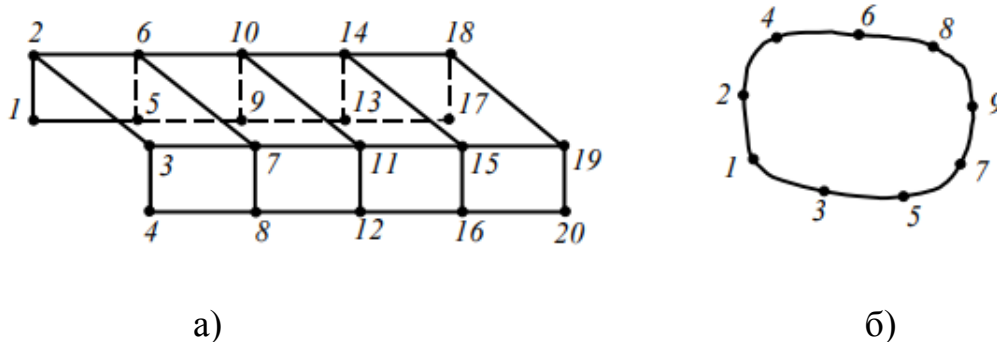


Рис.3.5. Послідовність нумерації вузлів

3.3. МКЕ у Simulation

Для будь-якого програмного пакета, в якому реалізований метод кінцевих елементів, буде застосований наступний порядок робіт, продемонстрований на малюнку:

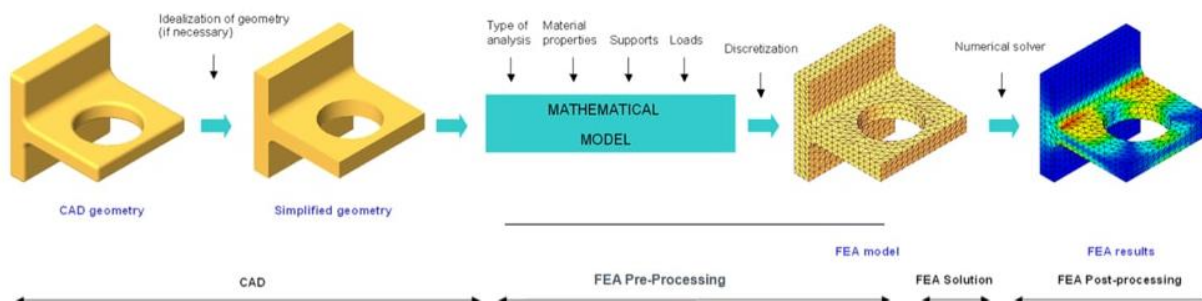


Рис.3.6. Порядок робіт з 3D моделлю під час проведення кінцево-елементного аналізу

- Створення 3D-моделі деталі конструктором (CAD geometry).
- Ідеалізація та спрощення 3D моделі для використання у розрахунку. (Simplified)
- Створення математичної моделі (Mathematical Model), яке включає:
 - Завдання типу аналізу (різні завдання можуть вимагати різних математичних підходів);
 - Завдання властивостей матеріалу;
 - Завдання закріплень;
 - Завдання навантажень.
- Розбиття моделі на кінцево-елементну сітку. (Mesh)
- Рішення. (Solution)

SOLIDWORKS Simulation дозволяє легко виконувати всі маніпуляції з цього списку і має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, вивчення якого не потребує багато часу.

РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1. Проектування збірки екструдера

Опираючись на отримані дані із літературних джерел та зображень у просторах інтернету, було спроектовано 3Д модель екструдера прямої подачі, який є об'єктом моєї дипломної роботи. Проектування здійснено за допомогою інструментарію САПР SolidWorks.

Кінцеву збірку спроектованого екструдера представлено на (рис. 4.1)

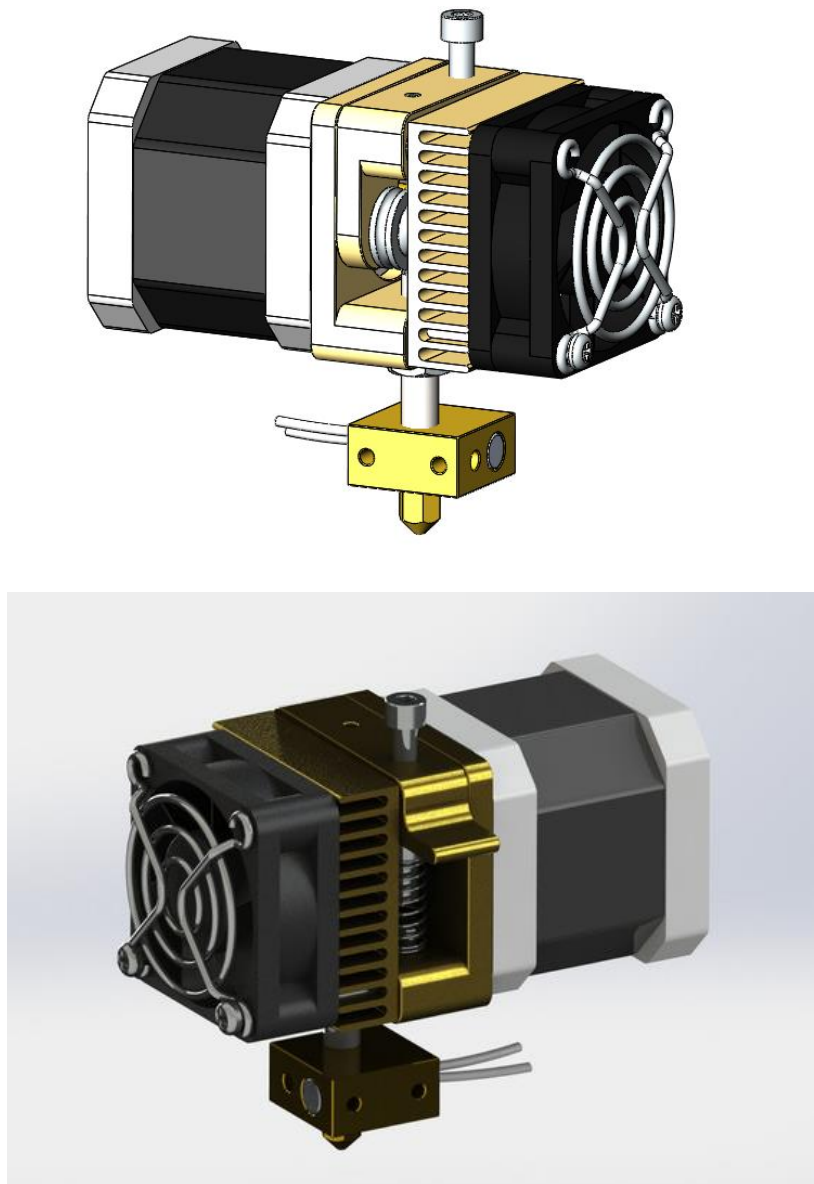


Рис. 4.1. Спроектвана модель екструдера у SolidWorks

Щоб продемонструвати усі компоненти із яких складається збірка, перейдемо у Exploded View і пороз'єднуємо деталі збірки(рис. 4.2).

«Кроковий мотор» являє собою стандартизований тип моторів, що використовуються для проектування та виготовлення 3Д принтерів (рис. 4.3)

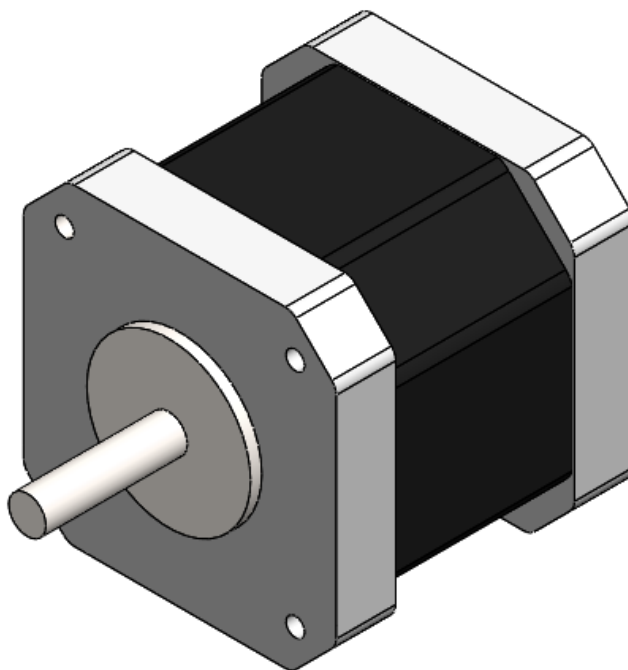


Рис. 4.3. 3Д модель кроковий мотор

«Фіксуєча планка» виконує роль основи для розміщення усієї системи подачі екструдера. Дану деталь зображено на рис. 4.4.

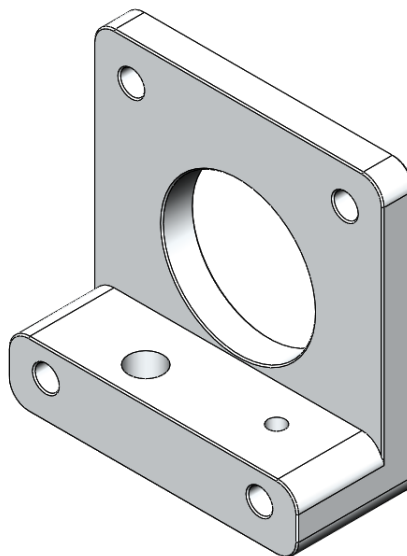


Рис. 4.4. Фіксуєча планка

«Направляюче колесо» забезпечує рівномірну подачу філаменту до термобар'єру , деталь показано на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Направляюче колесо

«Ручка подачі» забезпечує завантаження філаменту до системи подачі , деталь показано на рис. 4.6.

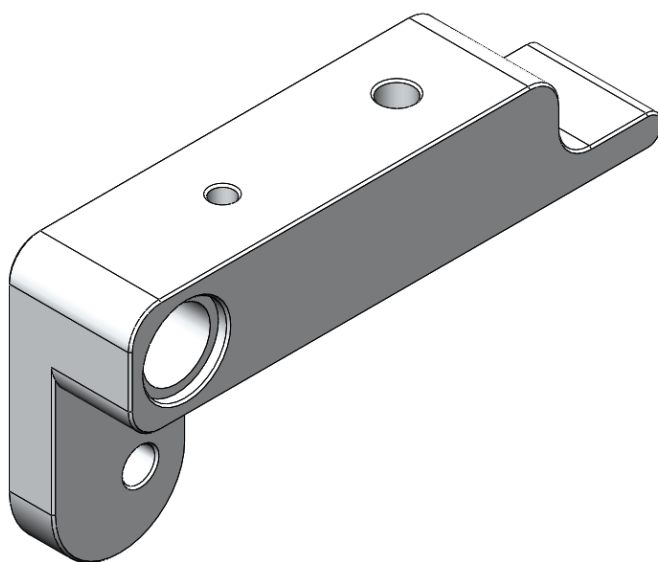


Рис.4.6. 3Д модель ручки подачі філаменту

«Зубчасте колесо подачі» забезпечує подачу філаменту до термобар'єру , деталь показано на рис. 4.7.

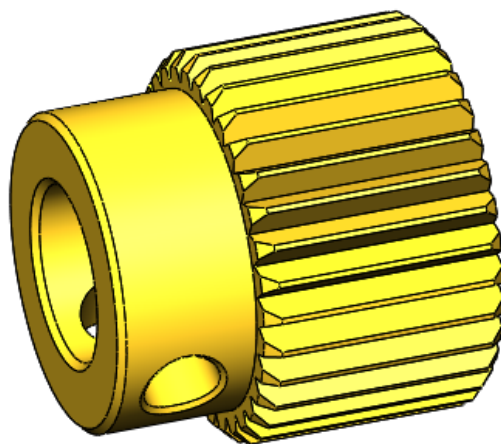


Рис.4.7. Зубчасте колесо подачі

File Name	Quantity	Mass
42H54...	1	0.51
bush	1	0.00
caprolon	1	0.00
clip	1	0.05
fan40x40	1	0.01
Fan gri...	1	0.00
gear	1	0.00
heater...	1	0.02
heatsink	1	0.07
Heatin...	1	0.00
m3x10_	1	0.00
m3x54	2	0.00
m4x20	1	0.00
m5x8	1	0.00
motor_...	1	0.08
nozzle	1	0.00
nut_m5	1	0.00
screw	1	0.00
special...	1	0.00
spring	1	0.00
therma...	1	0.00
washer	1	0.00

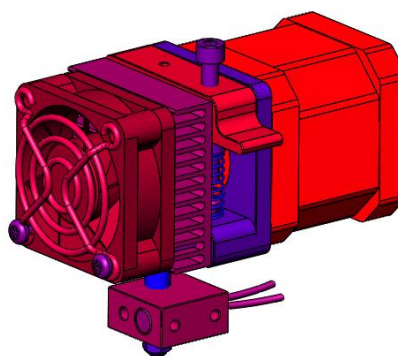


Рис.4.8. Візуалізація кінцевої збірки екструдера

Перевіримо основу механізму подачі екструдера на можливі місця пересічення компонентів(інтерференція), щоб переконатися в тому, що дана конструкція підходить для подальшого дослідження(рис.4.9).

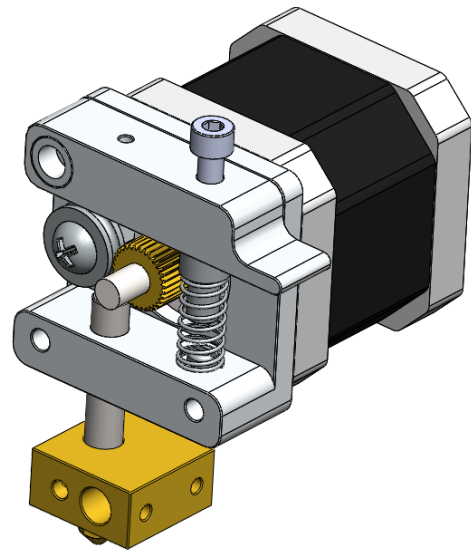
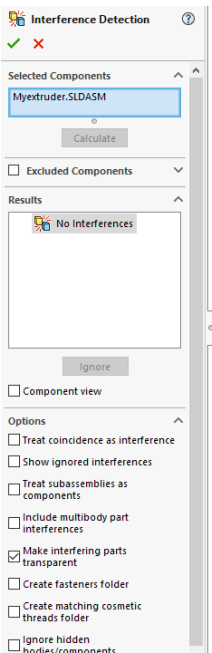


Рис.4.9. Аналіз інтерференції

Для термічного аналізу було спроектовану окрему збірку екструдера, щоб детально вивчити його температурні режими(рис.4.10).

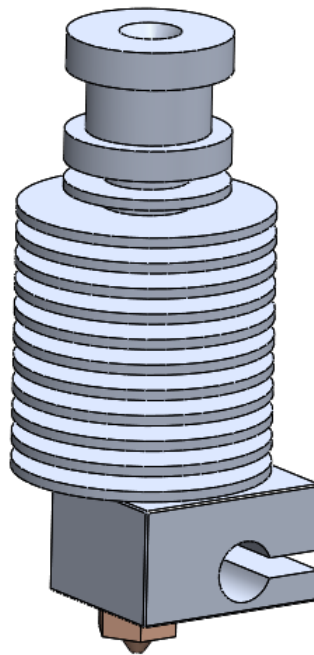


Рис.4.10. збірка екструдера

Дана збірка складається і 4-ьох компонентів, як це показано на рис. 4.11, а саме:

- радіатор
- термобар'єр

- нагрівальний блок
- сопло

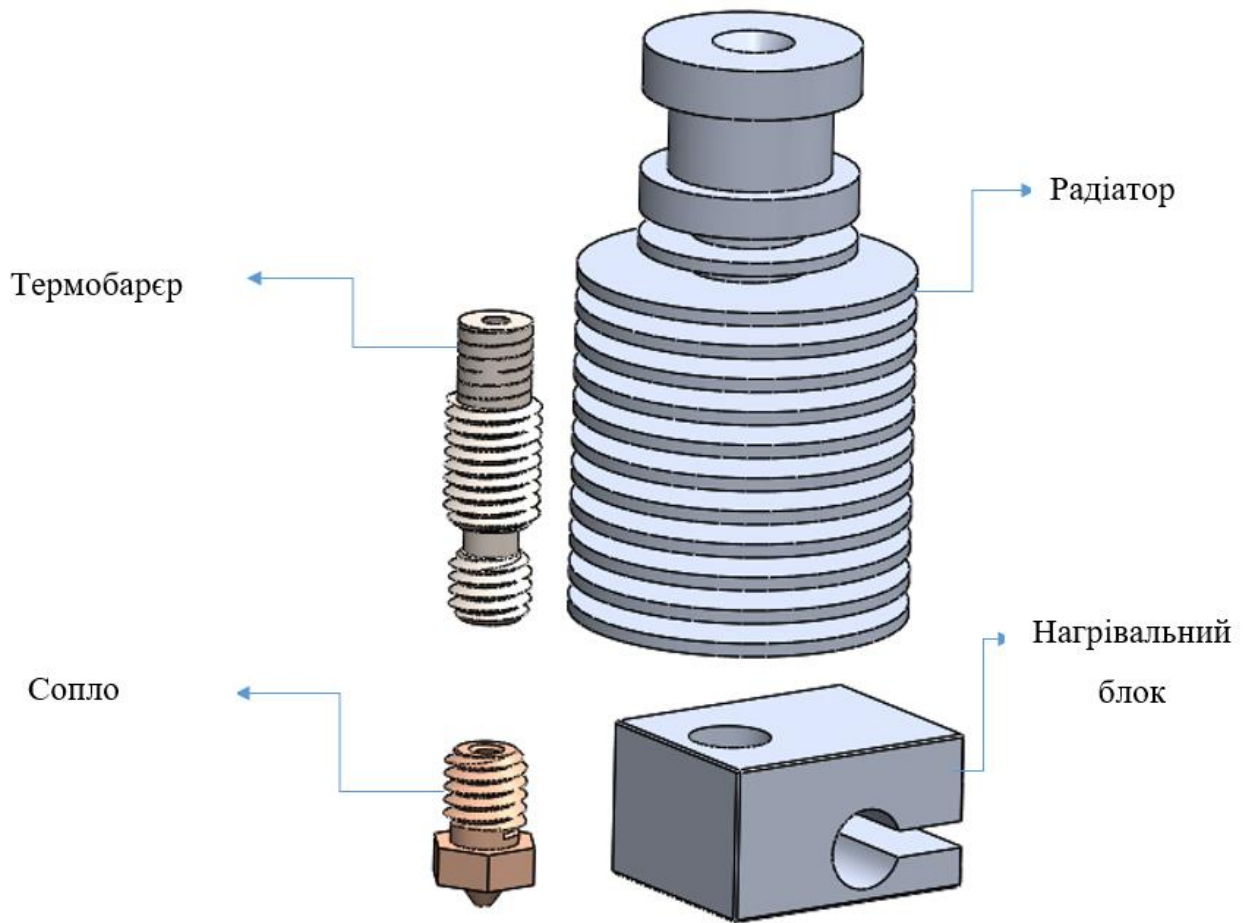


Рис.4.11. Набір компонентів збірки екструдера

Усі компоненти є важливими складовими при 3Д друці, тому розглянемо їх детальніше. Сопло це та частина екструдера, яка забезпечує правильне плавлення та подачу філамент, детальний вигляд показано на рис.4.12.

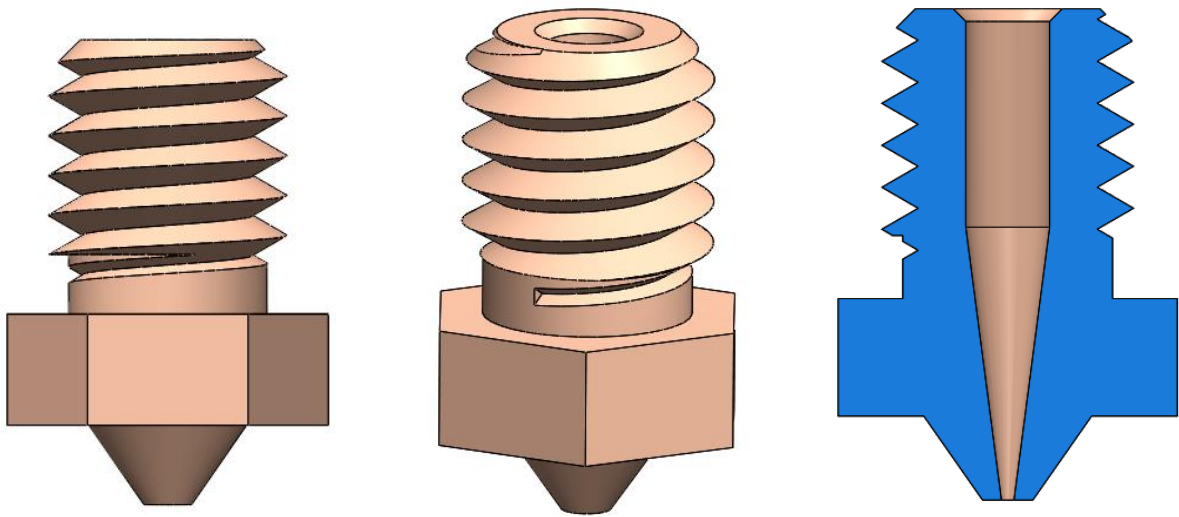


Рис.4.12. Сопло екструдера

Наступним важливим компонентом є термобарер, який повинен забезпечити правильна нагрівання філаменту у конкретній області, щоб не відбулось забивання сопла, детально його вигляд проілюстровано на рис.4.13.

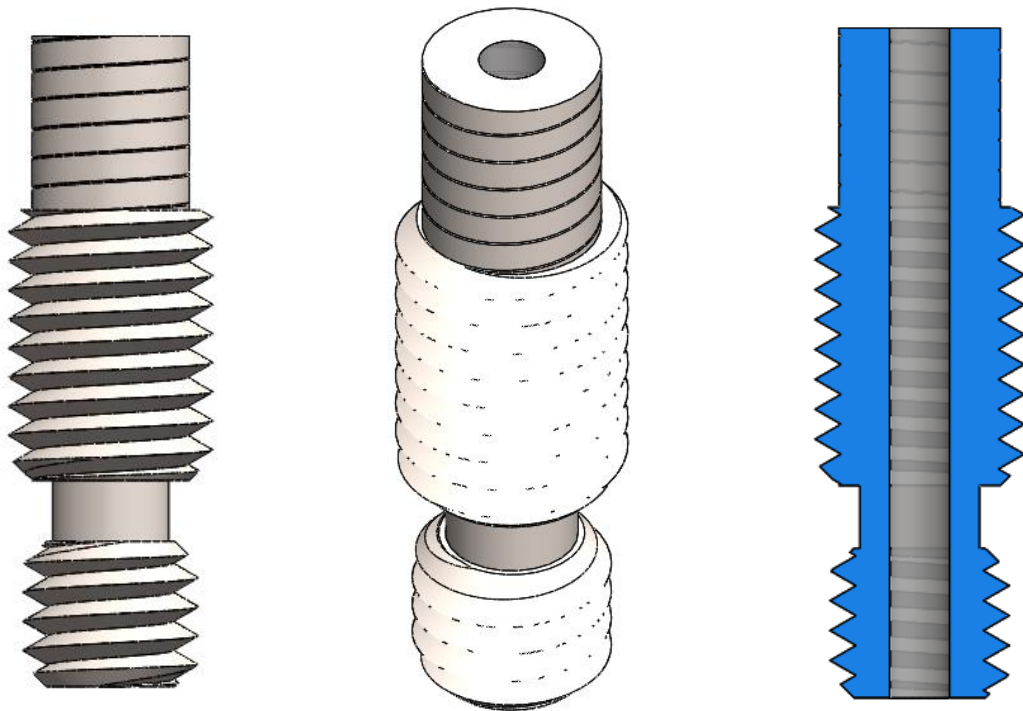


Рис.4.13. Термобарер

Компонент, який забезпечує правильне охолодження необхідної ділянки екструдера – це радіатор(рис.4.14), в більшості випадків він має форму, яку ми обрали для магістерської роботи, але бувають і інші різновиди.

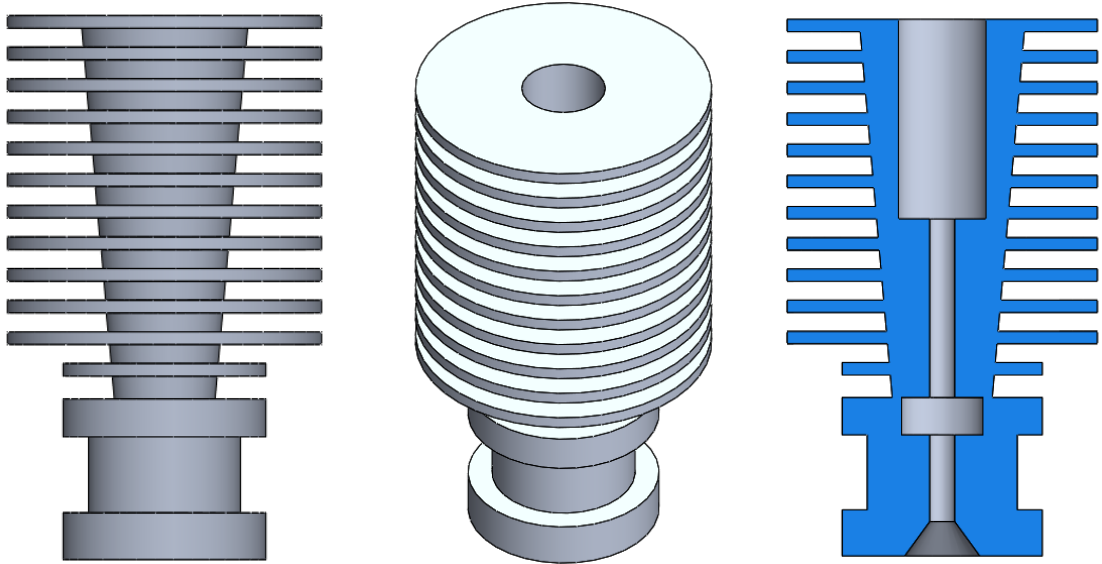


Рис.4.14. Радіатор екструдера

Ще один із важливих елементів – це сам нагрівний блок до якого вкручується сопло, а також розміщується нагрівний елемент та датчик температури(рис.4.15)

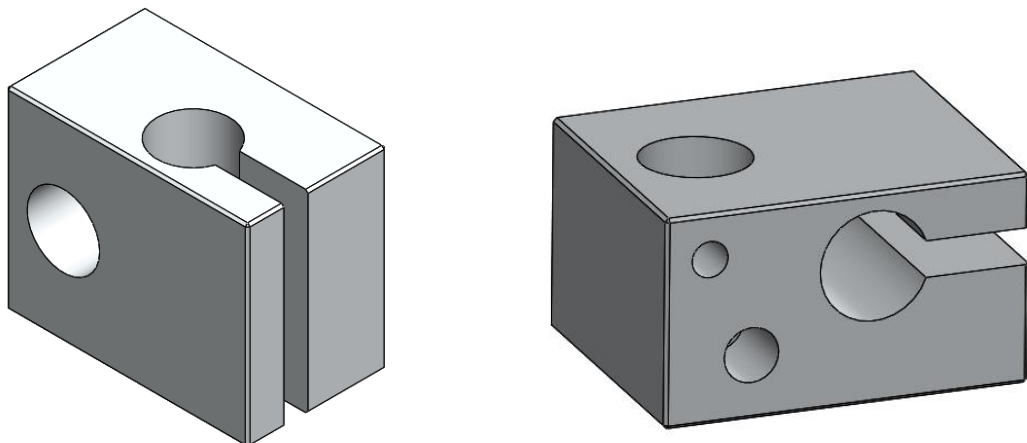


Рис.4.15. Нагрівний блок

Аналізуючи пророблену роботу у даному розділі ми бачимо, що спроектовано конструкцію екструдера для подальшого дослідження фізико-механічних характеристик та проведення термічного аналізу для отримання градієнтів розподілу температури та показників для забезпечення роботи із різного роду матеріалами для 3Д друку.

4.2. Дослідження кінематики екструдера

Дана дослідження дозволить перевірити конструкцію екструдера із системою подачі на функціональність за допомогою додатку Motion, для цього проведемо необхідні налаштування.

Першим кроком встановимо обертовий мотор, вказавши його місце розташування та значення швидкості(рис.4.16)

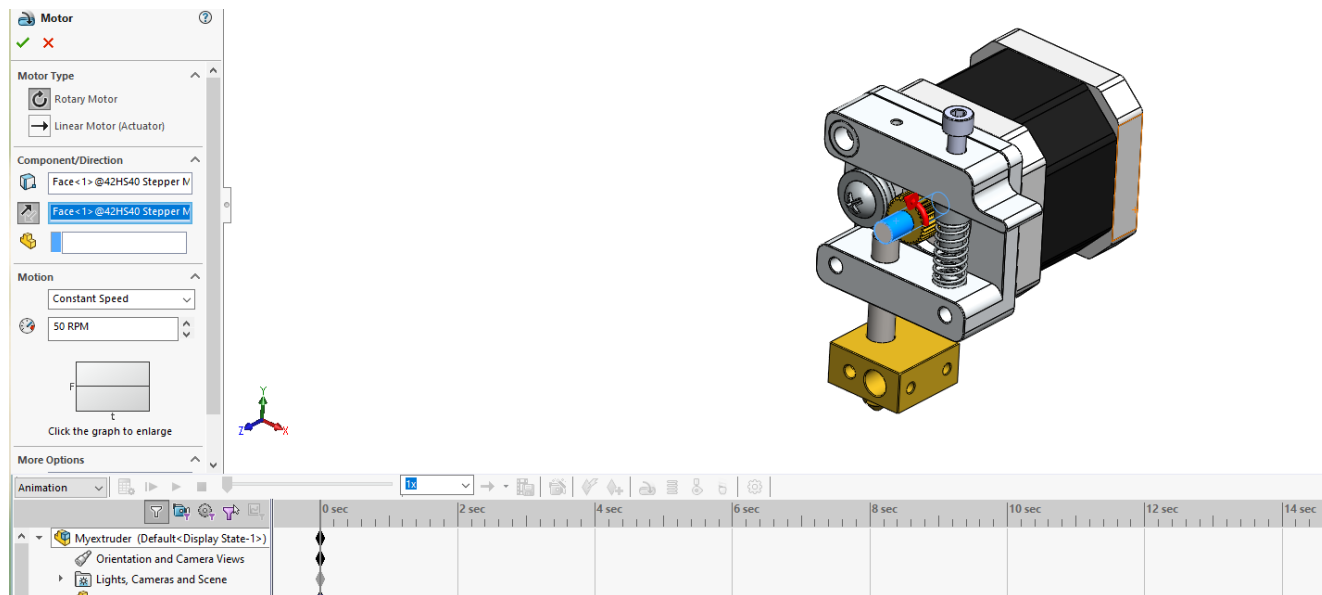


Рис.4.16. Налаштування крокового мотору

Наступним кроком буде визначення параметрів там місця розташування пружини(рис.4.17)



Рис.4.17. Параметри пружини

Додаймо реальності експерименту, вказавши силу земного тяжіння(рис.4.18)

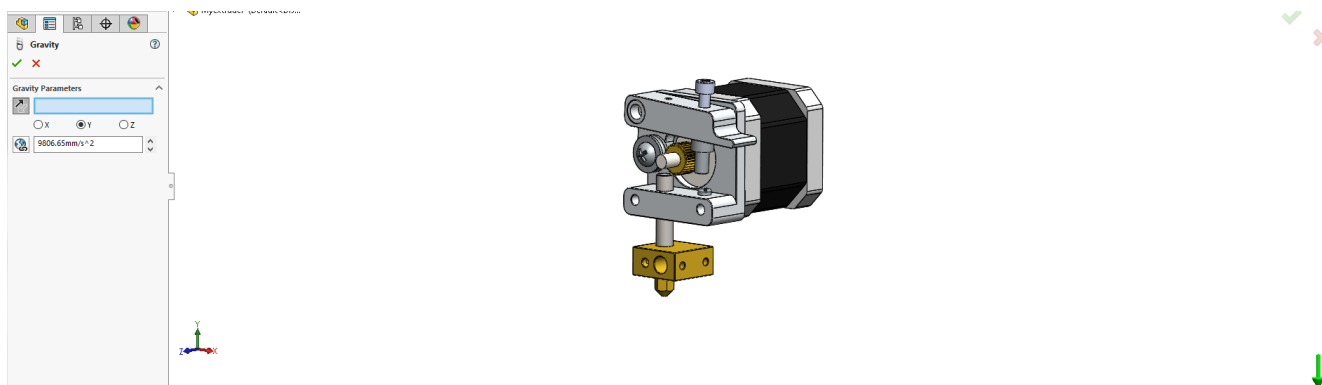


Рис.4.18. Сила земного тяжіння

Змоделюємо ситуацію завантаження філаменту до системи подачі, для цього вкажемо контакти між відповідними компонентами збірки(рис.4.19) та прикладемо силу до ручки подачі(рис.4.20).

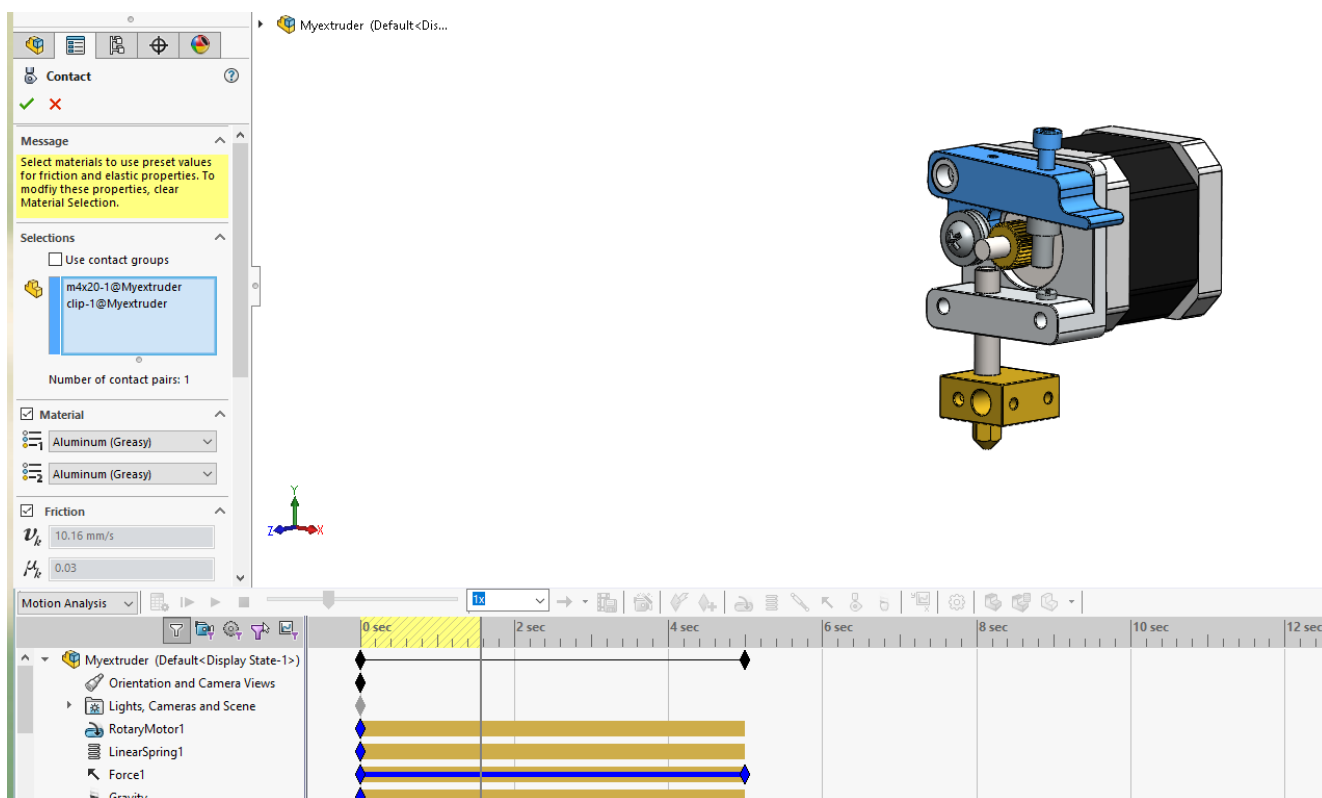


Рис.4.19. Контакти між компонентами збірки

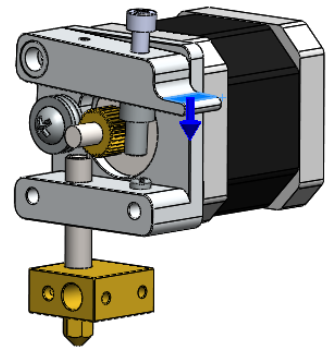
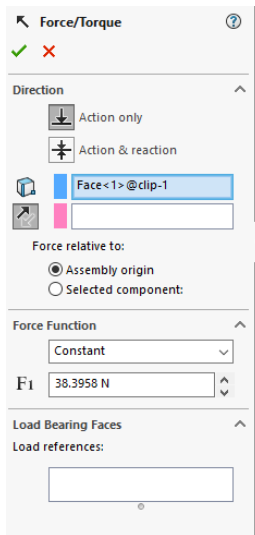


Рис.4.20. Сила для натискання ручки подачі

Графік, який наведено нижче демонструє, що система працює належним чином і підбрана пружина повністю виконує свою роль(рис.4.21)

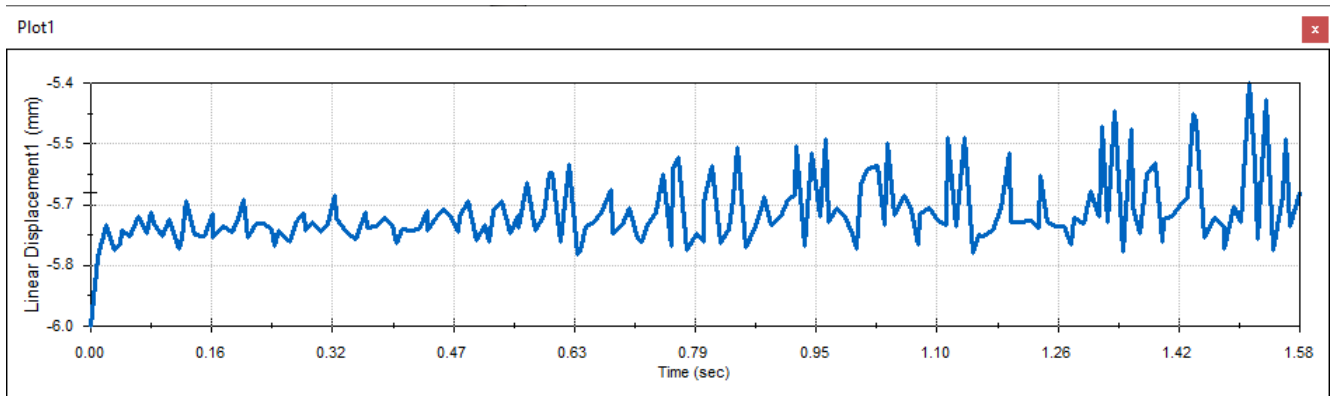


Рис.4.21 Графік залежності переміщення ручки подачі відносно часу проведення експерименту

Аналізуючи проведену роботу, можна сміливо заявити, що отримана збірка конструкції екструдера повноцінно готова для подальшого дослідження та проведення термічного аналізу, щоб отримати температурні режими роботи.

4.3. Термічний аналіз екструдера

Термічний аналіз будемо проводити із відокремленою збіркою екструдера без системи подачі, яка зображена на рис. 4.16.

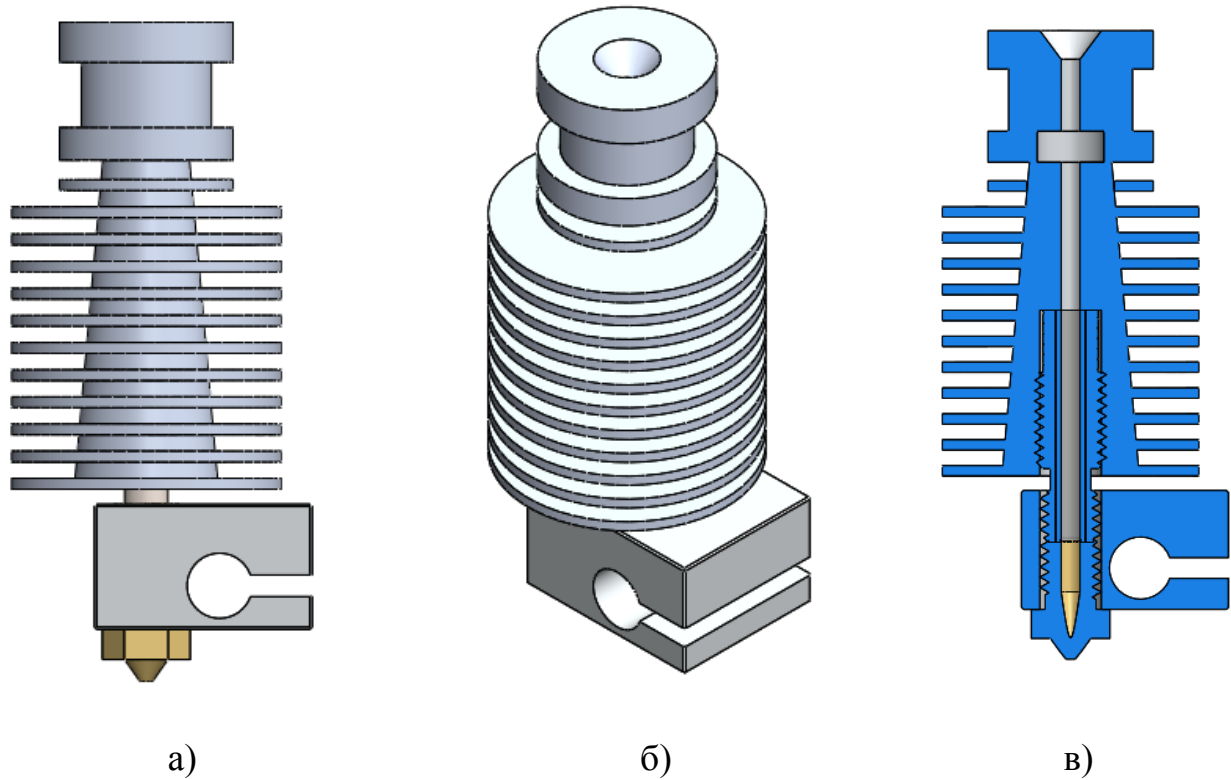


Рис.4.16. Збірка екструдера: а – вигляд з боку; б – ізометрія; в – переріз.

Коли виконується дослідження із збіркою деталей, важливою умовою є перевірка її на місця можливого перетинання областей деталей за допомогою функції Interference Detection(Рис.4.17).

За допомогою функції Assembly Visualization виведемо список деталей із яких складається збірка із їхніми кількісними та масовими характеристиками(рис.4.18.)

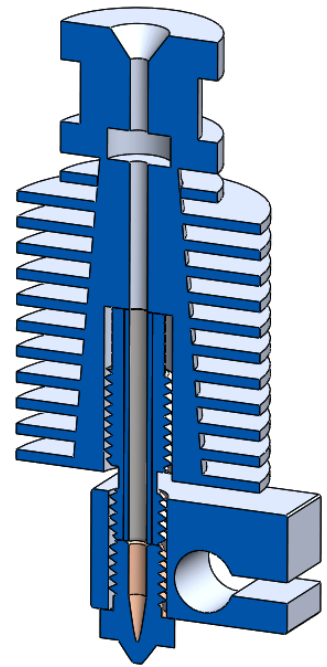
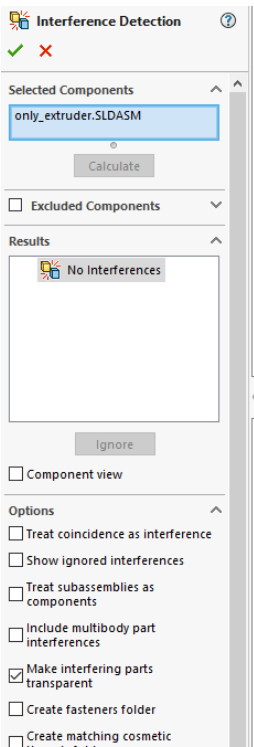


Рис.4.17. Перевірка на наявність інтерференції

Assembly Visualization

File Name	Quantity	Mass
нагрівний блок	1	7.21
Радіатор	1	22.55
Сопло_V6	1	2.04
термобар'єр	1	3.61

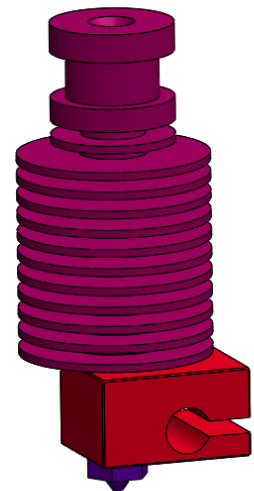


Рис.4.18. Кількісні та масові властивості збірки екструдера

Перед стартом будь-якого дослідження потрібно визначити матеріали для усіх компонентів збірки(рис.4.20), фізико-механічні властивості яких показана на рис. 4.21.

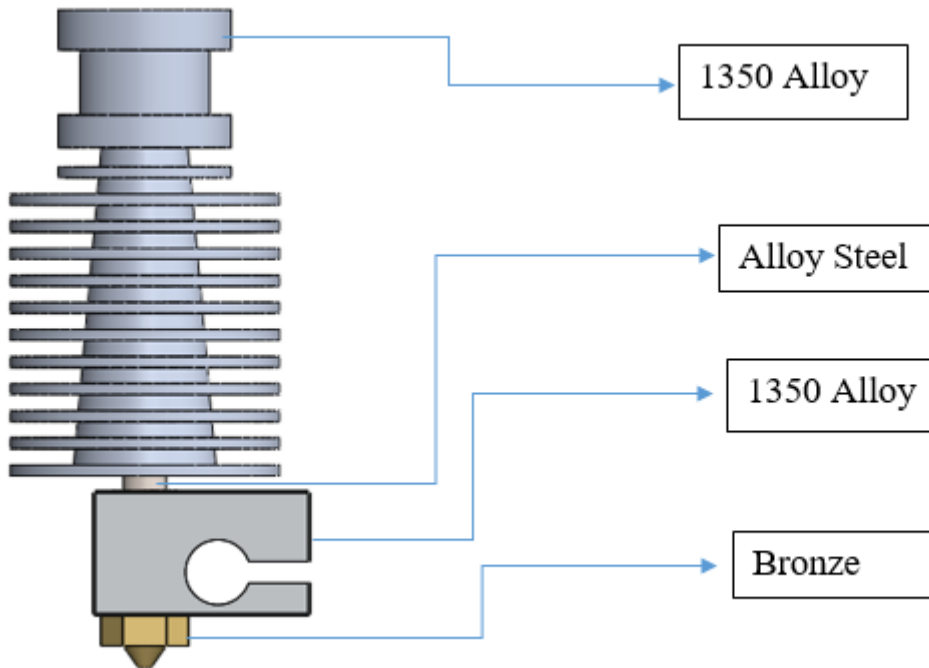


Рис.4.20. Матеріали усіх компонентів збірки

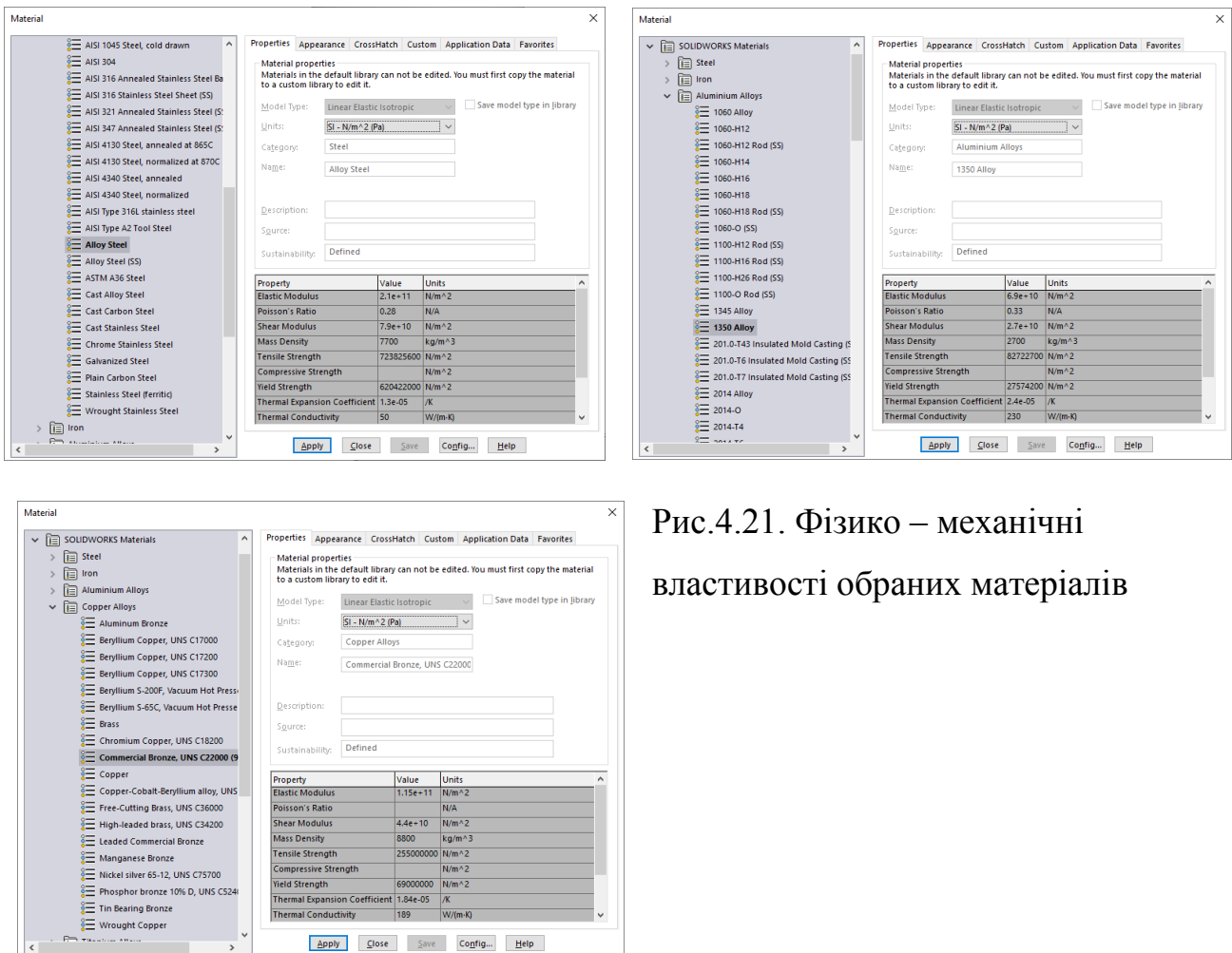


Рис.4.21. Фізико – механічні властивості обраних матеріалів

Наступним кроком є визначення контактів між деталями збірки, для використання функціоналу модуля і дозволимо йому автоматично визначити точки дотику деталей по типу вузол до вузла(рис.4.22), список визначених таким чином контактів буде наведено на рис.4.23.

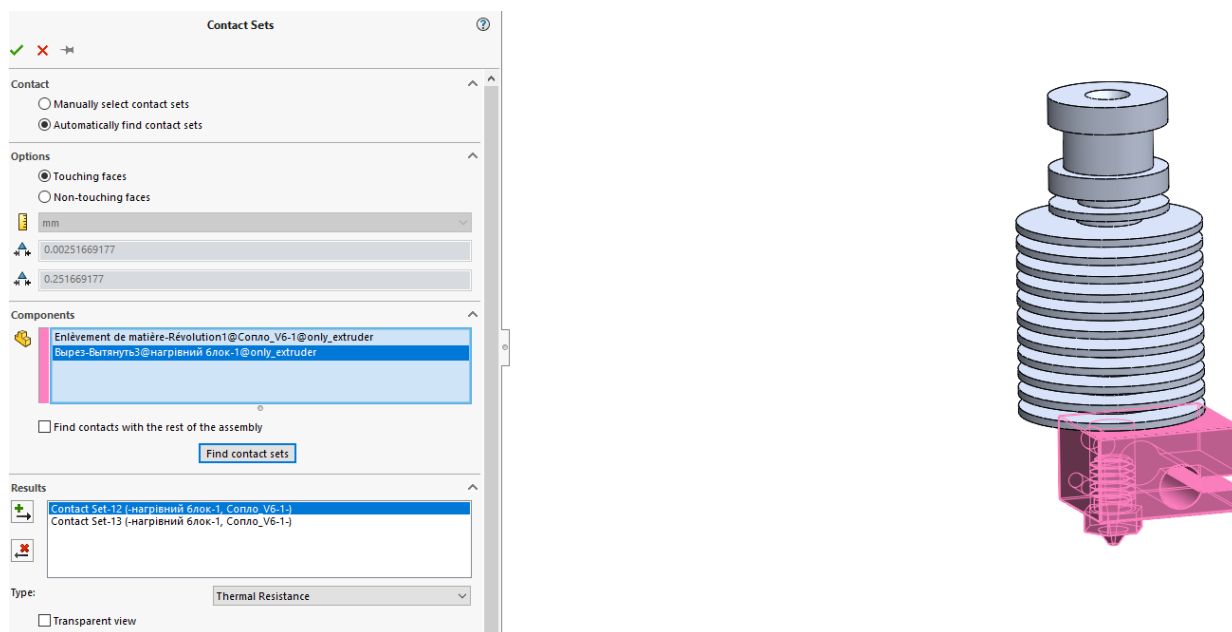


Рис.4.22. Приклад поставлення задачі для автоматичного визначення наборів контактів між компонентами збірки

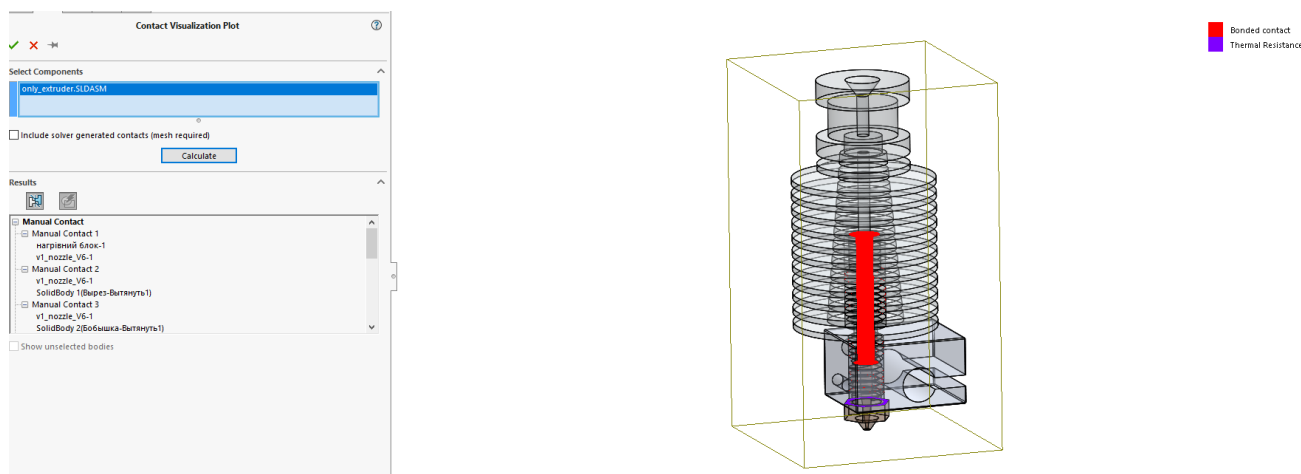


Рис.4.23. Список усіх прийнятих контактів

Для перевірки правильно визначених контактних груп проведемо простий аналіз, який покаже розподіл температури між компонентами збірки. Для цього у місці де розміщується нагрівальний елемент задаємо температуру 210 °С, це стандартна температура для матеріалу PLA(рис.4.23). Після побудови сітки на базі

МКЕ(рис.4.24) ми отримаємо результат розподілу температури між компонентами(рис.4.25), а також переконаємося, що пересічених ділянок у збірці теж не має, свідченням цього буде згенеровано розрахункова сітка.

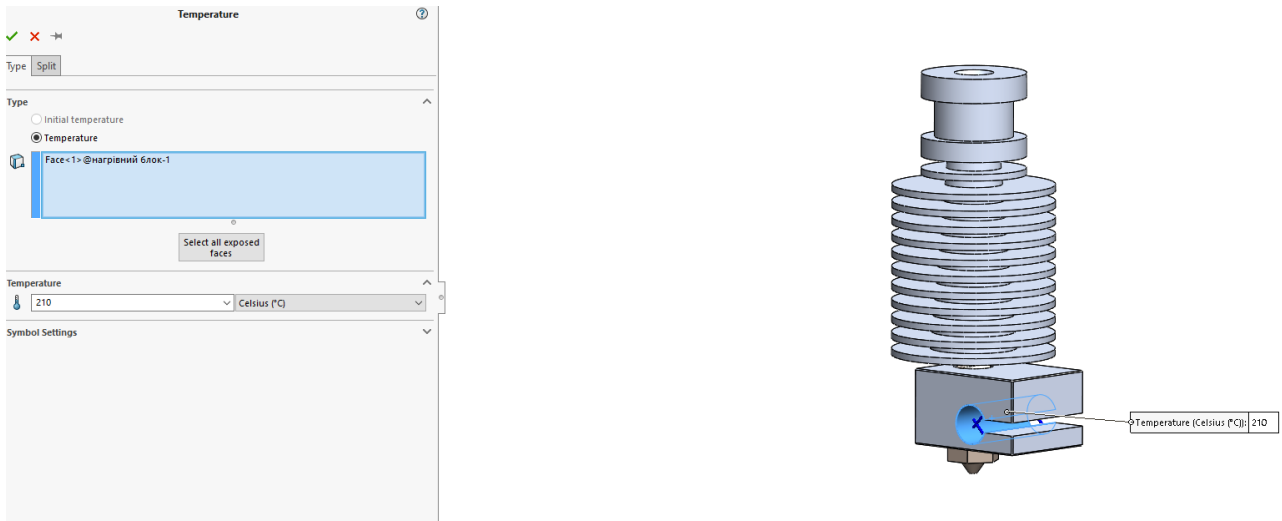


Рис.4.23. Визначення температури визначеної ділянки

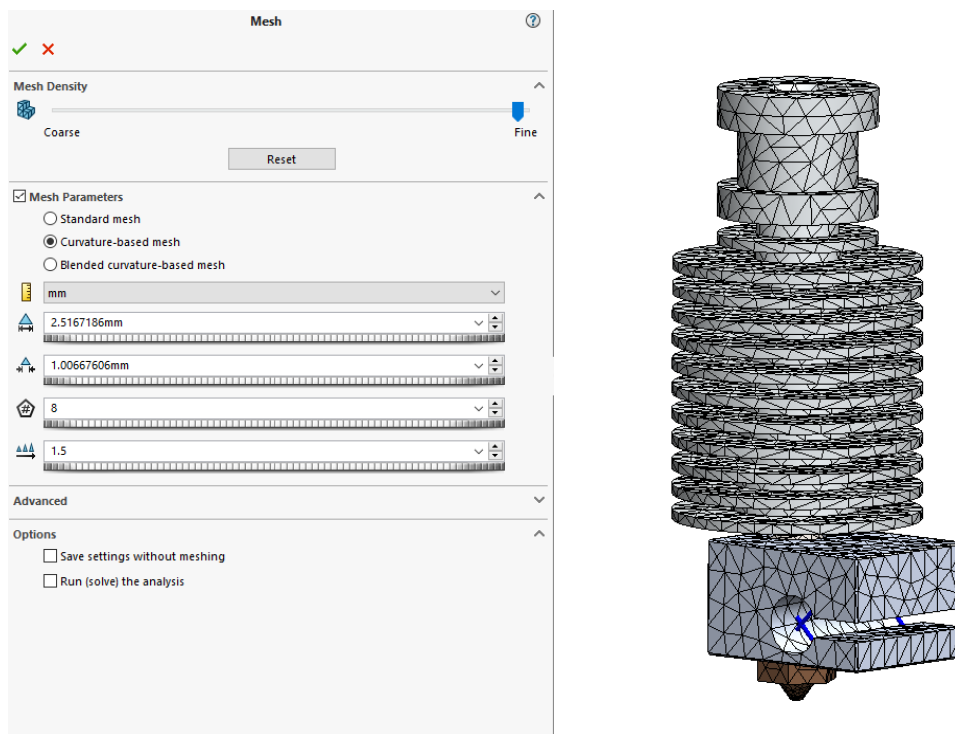


Рис.4.24. Розрахункова сітка

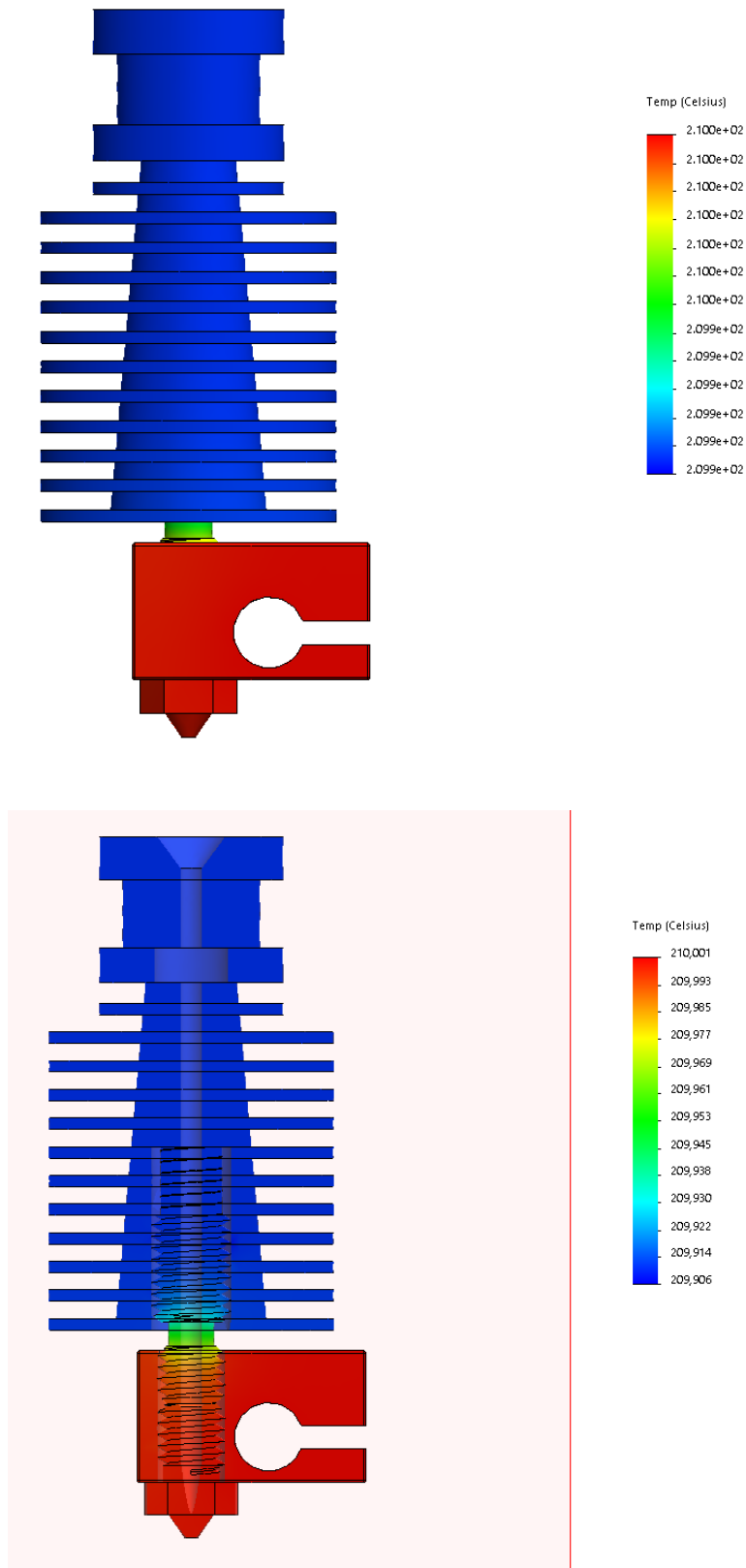


Рис.4.25. результат розподілу температури між компонентами збірки

Перевіривши усі застереження, які були перед початком дослідження можна переходити, то більш точно та більш визначеного аналізу. Перейдемо до проведення перехідного термічного аналізу, вказавши необхідні параметри у

налаштуваннях термічного дослідження, а саме тип аналізу та час(150 с) та крок(15 с) його проведення(рис.4.26.). Переважно принтер нагріваються до 3-ьох хвилин при стандартному нагрівному елементі, тому параметри аналізу було обрано із цих даних.

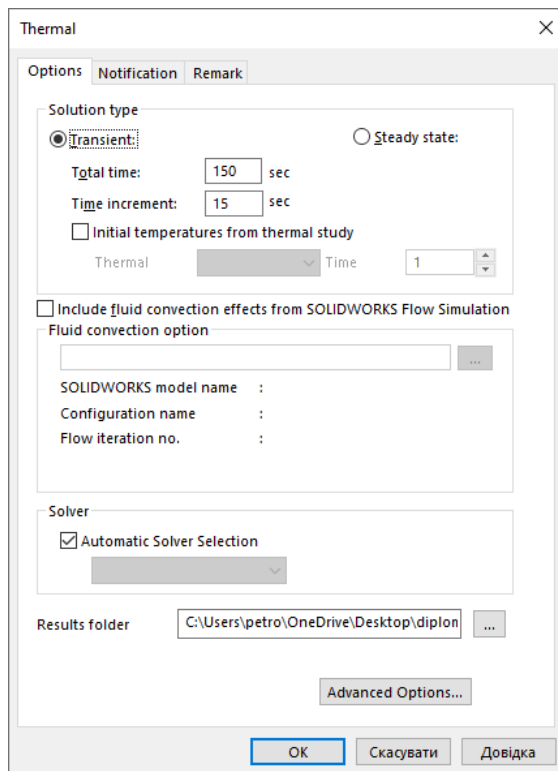


Рис.4.26. Налаштування параметрів проведення термічного аналізу

Наступним кроком є визначення початкової температури усіх тіл(рис.4.27)

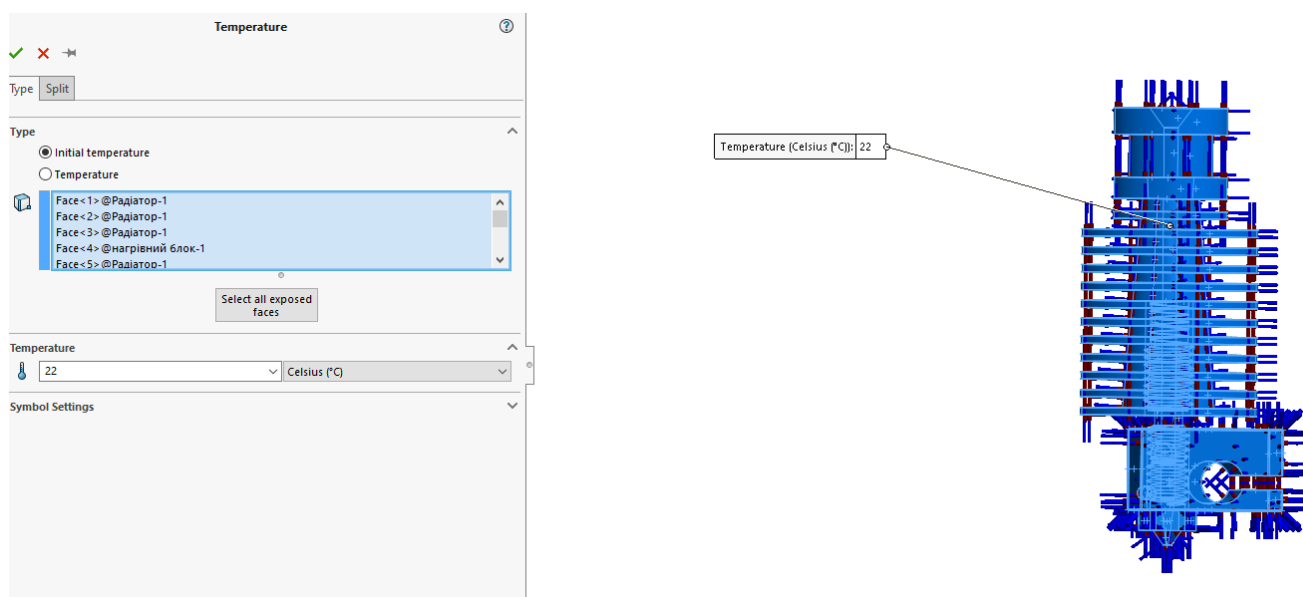


Рис.4.27. Встановлення початкової температури

W(рис.4.28)

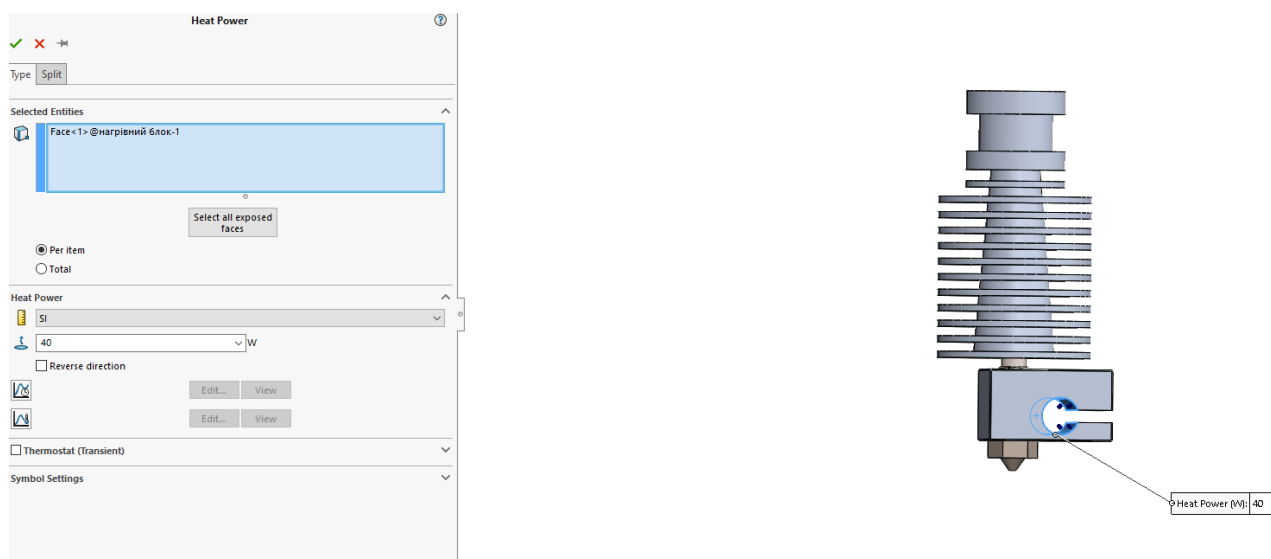


Рис.4.28. Джерело нагрівання екструдера

Оскільки філамент повинен розплавлятися виключно у межах нагрівального блоку та сопла, в більшості принтерів на радіатор прикріплюють додатковий вентилятор, тому доцільно вказати на поверхні радіатора явище конвекції(рис.4.29). Важливим фактором є визначення температури навколишнього середовища, в протилежному випадку даний експеримент проходитиме у вакуумі.

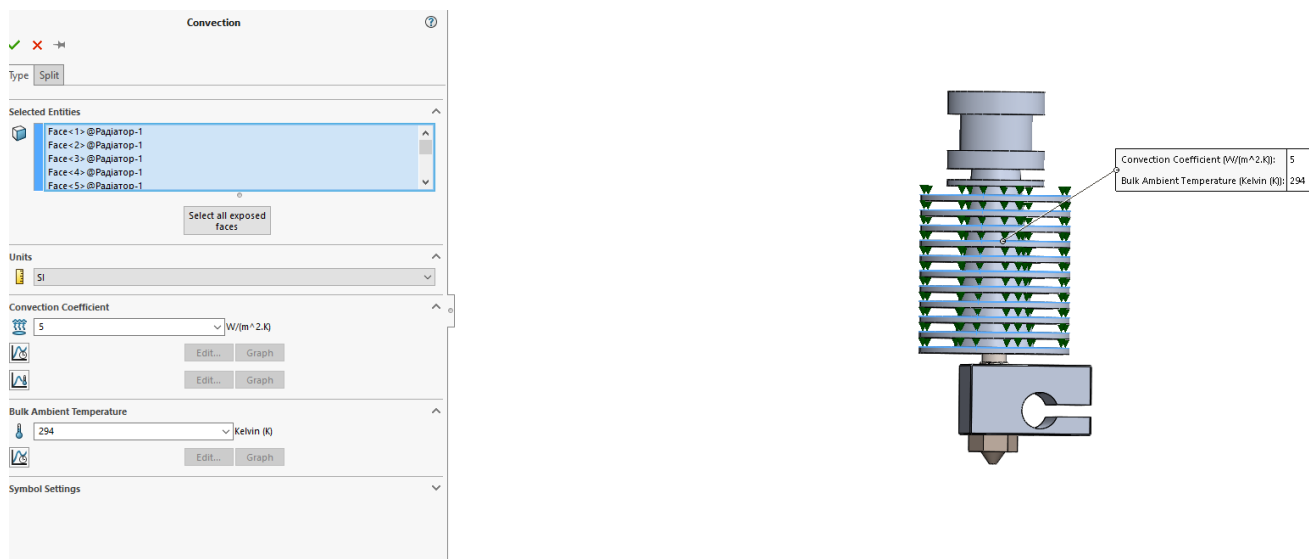


Рис.4.29. Визначення явища конвекції

Загальна картина початкових та граничних умов показана на наступному рисунку(рис.4.30)

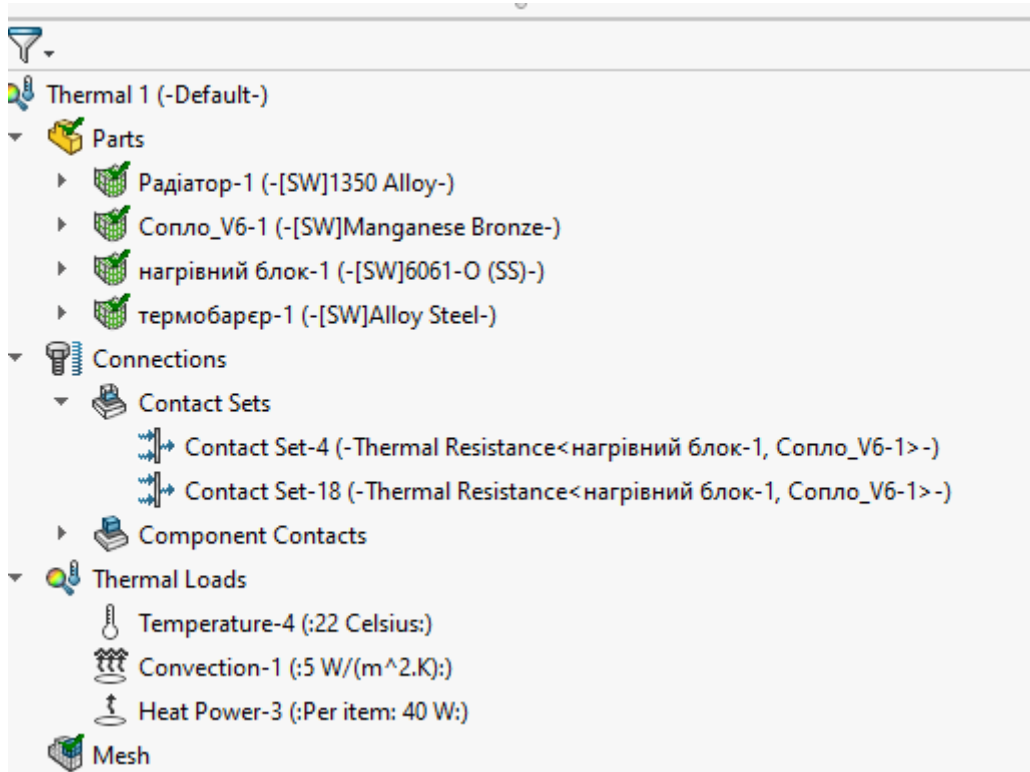
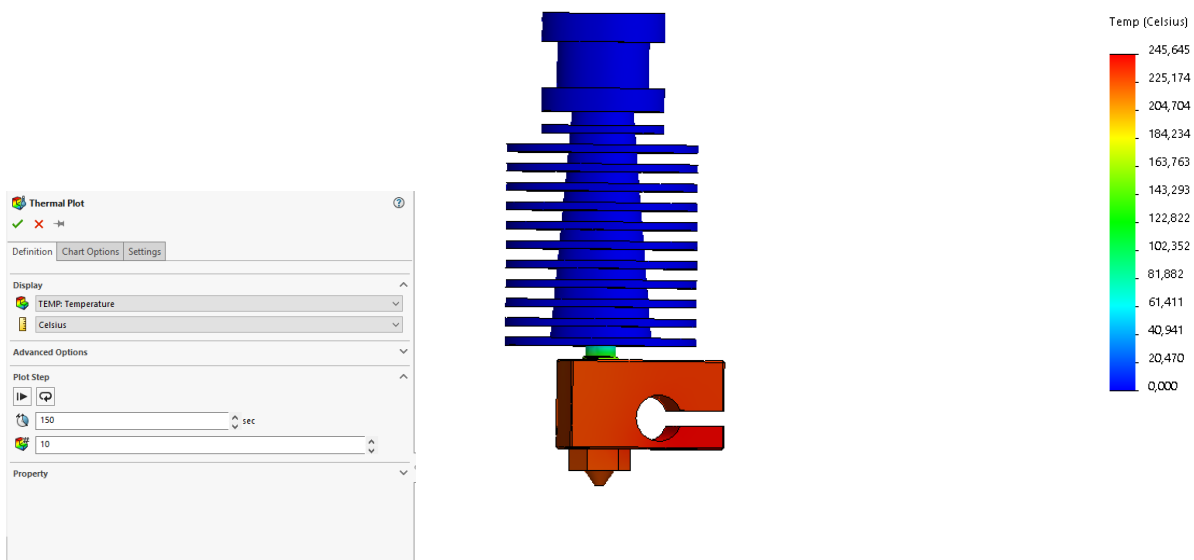


Рис.4.30. Початкові та граничні умови дослідження

Після обрахунку усіх ітерацій дослідження ми отримали наступні значення та розподіли температури у деталях збірки(рис.4.31). результати знімалися на останній ітерації дослідження.



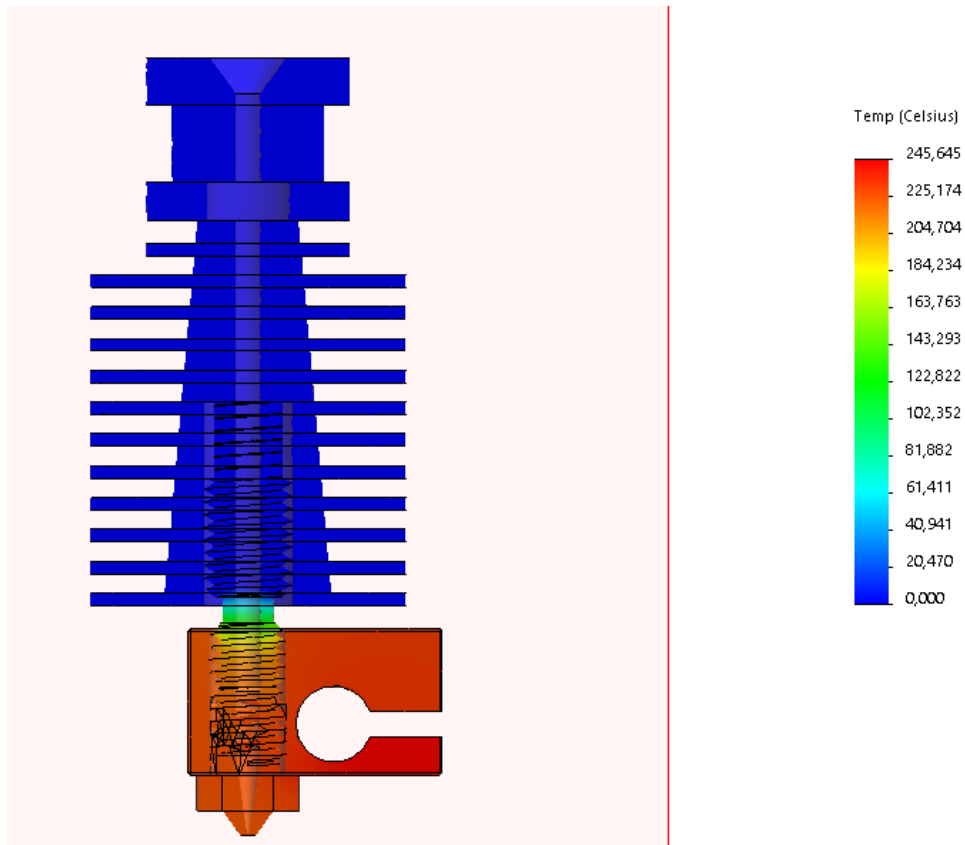


Рис.4.31. Значення та розподіл температури в результаті проведення експерименту
Також за допомогою інструментарію можна отримати список значень температури у всіх вузлах збірки(рис.4.32.)

List Results

Study name: Thermal 1

Units: Celsius Step Number: 10

Selected reference : N/A

Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	TEMP (Celsius)
28050	14.3273	6.36199	8.41928	2.45645e+02
27612	14.3273	6.36199	18.4193	2.45638e+02
28049	14.3273	6.36199	4.41928	2.45634e+02
29428	14.3273	6.36199	7.41928	2.45623e+02
29426	14.3273	6.36199	3.41928	2.45619e+02
29433	14.3273	6.36199	17.4193	2.45618e+02
29427	14.3273	6.36199	5.41928	2.45618e+02
27614	14.3273	6.36199	2.41928	2.45603e+02
28047	14.3273	6.36199	6.41928	2.45602e+02
28052	14.3273	6.36199	16.4193	2.45598e+02
29429	14.3273	6.36199	9.41928	2.45592e+02
29432	14.3273	6.36199	15.4193	2.45592e+02
28048	14.3273	6.36199	14.4193	2.45586e+02
29431	14.3273	6.36199	13.4193	2.45580e+02
28051	14.3273	6.36199	12.4193	2.45573e+02
29430	14.3273	6.36199	11.4193	2.45557e+02
31001	14.0998	5.86697	9.41928	2.45555e+02
28046	14.3273	6.36199	10.4193	2.45540e+02
31118	14.0998	5.86697	11.4193	2.45520e+02
30955	14.0998	5.86697	10.4193	2.45503e+02
28288	13.7866	5.42124	10.4193	2.45466e+02
31031	14.0292	5.75031	13.4193	2.45457e+02
31113	14.0292	5.75031	12.4193	2.45450e+02
31120	13.9534	5.63698	15.4193	2.45401e+02
31002	13.696	5.31928	11.4193	2.45397e+02
30969	13.9534	5.63698	14.4193	2.45395e+02
28317	13.6009	5.22154	12.4193	2.45327e+02
31054	13.8724	5.52722	17.4193	2.45311e+02
31114	13.8724	5.52722	16.4193	2.45291e+02
34524	14.8438	5.64717	3.92658	2.45280e+02

Close Save Help

Рис.4.32. Список значень температури у вузлах сітки

Деякі матеріали для друку мають високу температуру плавлення, тому, щоб забезпечити такий самий час розігрівання екструдера використовують потужніший нагрівний елемент, але при тому потрібно використовувати сопла, які виготовленні зі сталі, оскільки бронзові або мідні розширюють діаметр сопла і кінцевий виріб виходить неякісним. Проведемо повторне дослідження змінивши матеріал сопла та деякі граничні умови(рис.4.33).

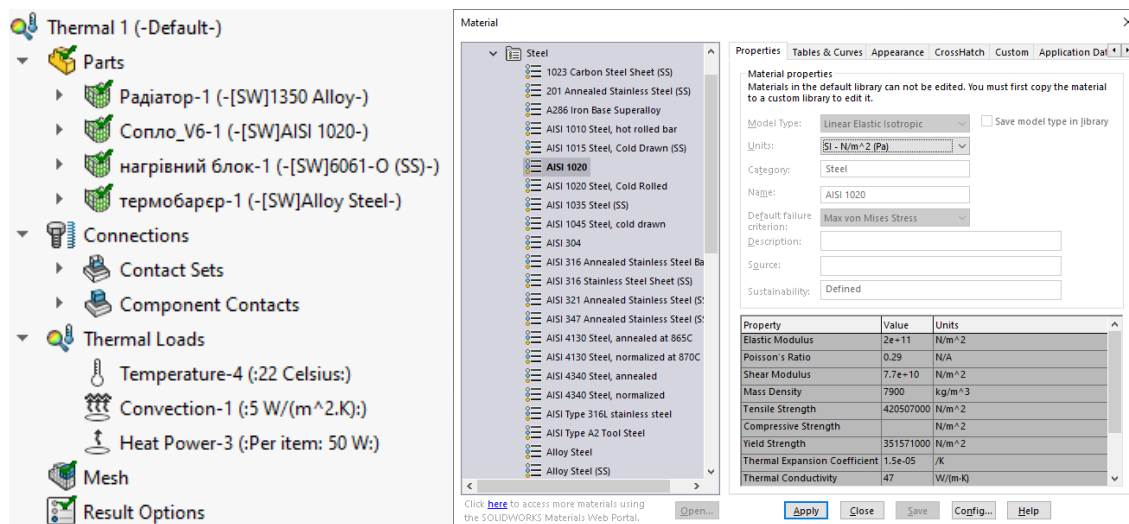


Рис.4.33. Початкові та граничні умови для друку викотемпературними філаментами

Проводимо перебудову розрахункової сітки та повторимо дослідження із вище описаними початковими та граничними умовами. Як результат отримаємо наступні епбри розподілу та значення температури у екструдері(рис.4.34.), а також значення температури у всіх вузлах розрахункової сітки(рис.4.35).

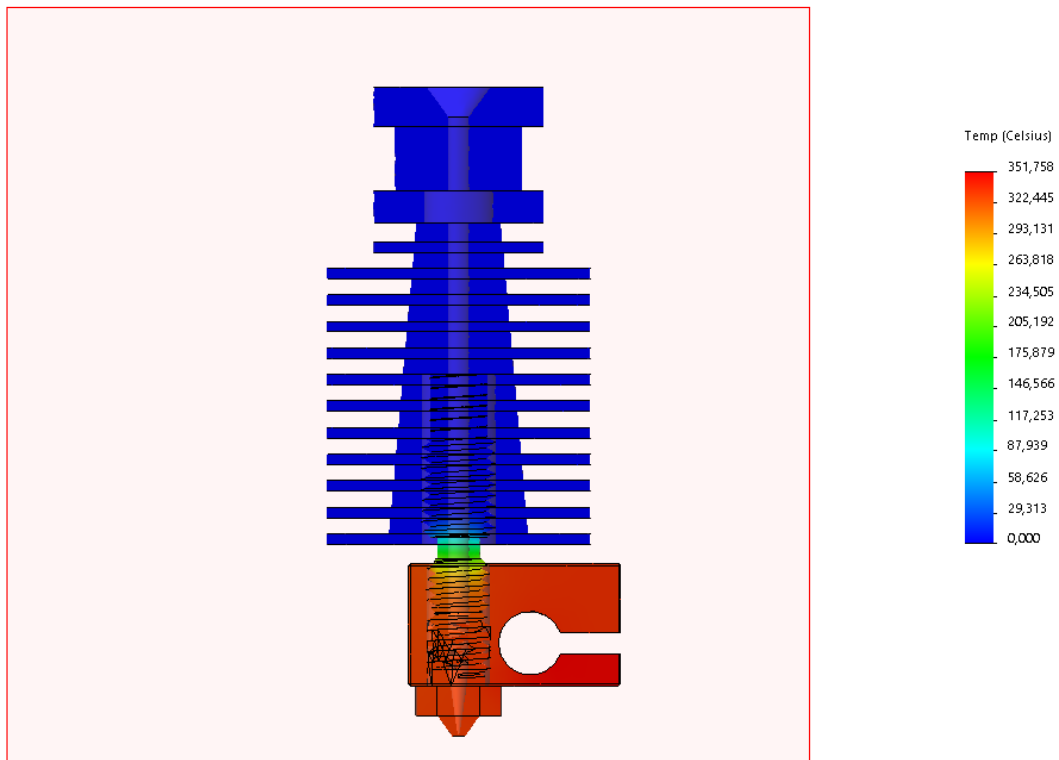


Рис.4.34. Результати градієнту розподілу температури для високотемпературних філаментів

List Results

Study name: Thermal 1

Units: Celsius Step Number: 10

Selected reference : N/A

Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	TEMP (Celsius)
27612	14.3273	6.36199	18.4193	3.51758e+02
29433	14.3273	6.36199	17.4193	3.51730e+02
28049	14.3273	6.36199	4.41928	3.51727e+02
28050	14.3273	6.36199	8.41928	3.51714e+02
29426	14.3273	6.36199	3.41928	3.51711e+02
28052	14.3273	6.36199	16.4193	3.51702e+02
29427	14.3273	6.36199	5.41928	3.51700e+02
27614	14.3273	6.36199	2.41928	3.51695e+02
29428	14.3273	6.36199	7.41928	3.51694e+02
29432	14.3273	6.36199	15.4193	3.51685e+02
28047	14.3273	6.36199	6.41928	3.51673e+02
28048	14.3273	6.36199	14.4193	3.51668e+02
29431	14.3273	6.36199	13.4193	3.51650e+02
29429	14.3273	6.36199	9.41928	3.51646e+02
28051	14.3273	6.36199	12.4193	3.51632e+02
29430	14.3273	6.36199	11.4193	3.51605e+02
31001	14.0998	5.86697	9.41928	3.51593e+02

Close Save Help

Рис.4.35. Значення температури у вузлах сітки

Аналізуючи дане дослідження ми бачимо, що конструкція і матеріали спроектованого екструдера відповідають усім вимогам роботи як для звичайних матеріалів (ABS, PLA, COPET) так і для високотемпературних (PC, NYLON, PA), про що свідчать епюри результатів термічного дослідження.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1. Ідея проекту

Коротко опишемо **зміст ідеї**, вона полягає в тому щоб розробити САПР збірки екструдера 3д принтера для того щоб проводити моделювання процесів, які виникають під час 3Д друку, що дозволить інженерам підібрати оптимальні матеріали для основних компонентів екструдера та параметри основної електроніки такі як потужність нагрівного елемента наприклад.

Щодо **напрямоків застосування**, в даний час галузь 3Д друку все більш розвивається і вона уже далеко вийшла за межі навчальних закладів, університетів та прогресивних виробництв. Адитивні технології все більше та більше потрапляють до простого пересічного користувача. Тому дана робота буде цікава як вченим у даному напрямку, інженерам виробничої ланки та к і простим клієнтам, які певним чином задіяли адаптивні технології у своєму житті.

Переваги використання спроектованої моделі зокрема в тому, що можна без зайвих затрат проаналізувати ті чи інші покращення для екструдера свого 3Д принтера, при тому це все можна зробити на звичайному ПК.

Відмінності від подібних розробок в тому, що переважно використано лише геометричне моделювання, а у нашому випадку ще й імітаційне із повним набором проведених досліджень. Достатньо лише змінити початкові та граничні умови або ж геометрію наприклад радіатора та перезапустити прорахунок.

Проведемо порівняльний аналіз основних показників, із такою шкалою оцінювання:

- а) гірші значення (W, слабкі);
- б) аналогічні (N, нейтральні) значення;
- в) кращі значення (S, сильні).

Таблиця 5.1. Визначення характеристик ідеї проекту

№ з/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(Потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Проект конкурента			
1	Форма виконання	САПР із набором досліджень	3Д модель			+
2	Собівартість	низька	середня		+	
3	Наявність адміністратора	Не потрібно	-			+
4	Наявність Інтернету	Не потрібно	Потрібно			+
5	Зручність використання	Зручний інтерфейс обраного САПР для розробки даного проекту	Складна 3д модель			+

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної можливості реалізації ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (таблиця 5.2):

- за якою технологією буде виготовлено 3Д модель згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/придбати/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Для кращого сприйняття даних зведемо їх у таблицю, де продемонструємо усі вимоги до технологій.

Таблиця 5.2 Технологічна реалізація проекту

№ п/н	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розроблення САПР для екструдера 3Д принтера із набором досліджень для його вдосконалення	SolidWorks та його модулі Simulation та Motion	Доступна, також повний функціонал із терміном на 30 днів	Деякі технології платні, але є trial період

5.3. Розроблення ринкової стратегії проекту

Стосовно ринкової стратегії можна запускати наступні речі:

1. Розробити мануал по використанню розробленої САПР і зробити електронну розсилку по виробництвах та фабриках 3Д друку, при тому зробити коротке опитування на скільки дана інформація була корисною і щоб на їхню думку можна було б додати
2. В наш час дуже популярні соціальні мережі такі як Instagram, Facebook, ТікТок можна створити там акаунти для нашого проекту і таким чином через коментарі збирати ідеї для його вдосконалення
3. Можна запускати пробний період використання основною перевагою якого буде збирання фідбеків від юзерів
4. Якщо ми отримаємо достатньо фідбеків і розроблена САПР буде лише збільшувати свої можливості, то зможемо уже налаштувати таргетинг та контекстну рекламу

Це короткий план першочергових дій, щоб можна було вийти на ринок із більш конкурентноспроможним продуктом.

ВИСНОВКИ

Як результат виконання даної магістерської стало розроблення 3Д збірки деталей, які у сукупності утворюють збірку екструдера для 3Д принтера, який працює за технологією FDM. Проаналізувавши типи та види екструдерів, було обрано екструдер прямої подачі (Direct) так як даний тип є найбільш розповсюдженим і має низку переваг, які наведено у першому розділі.

За допомогою модуля Motion було проведено дослідження кінематики, моделюючи ситуацію загрузки філаменту, при тому визначено зусилля, які потрібно для цього застосувати. Також визначено у ході дослідження геометричні та фізичні параметри пружини.

Велику увагу було надано температурному аналізу, оскільки правильно підібрана температура плавлення для технології FDM є одним із найважливіших показників. За допомогою модуля Simulation визначення параметри нагрівного елемента для різного типу матеріалів. Аналізуючи дані дослідження ми бачимо, що конструкція і матеріали спроектованого екструдера відповідають усім вимогам роботи як для звичайних матеріалів (ABS, PLA, COPET) так і для високотемпературних (PC, NYLON, PA), про що свідчать епюри результатів термічного дослідження.

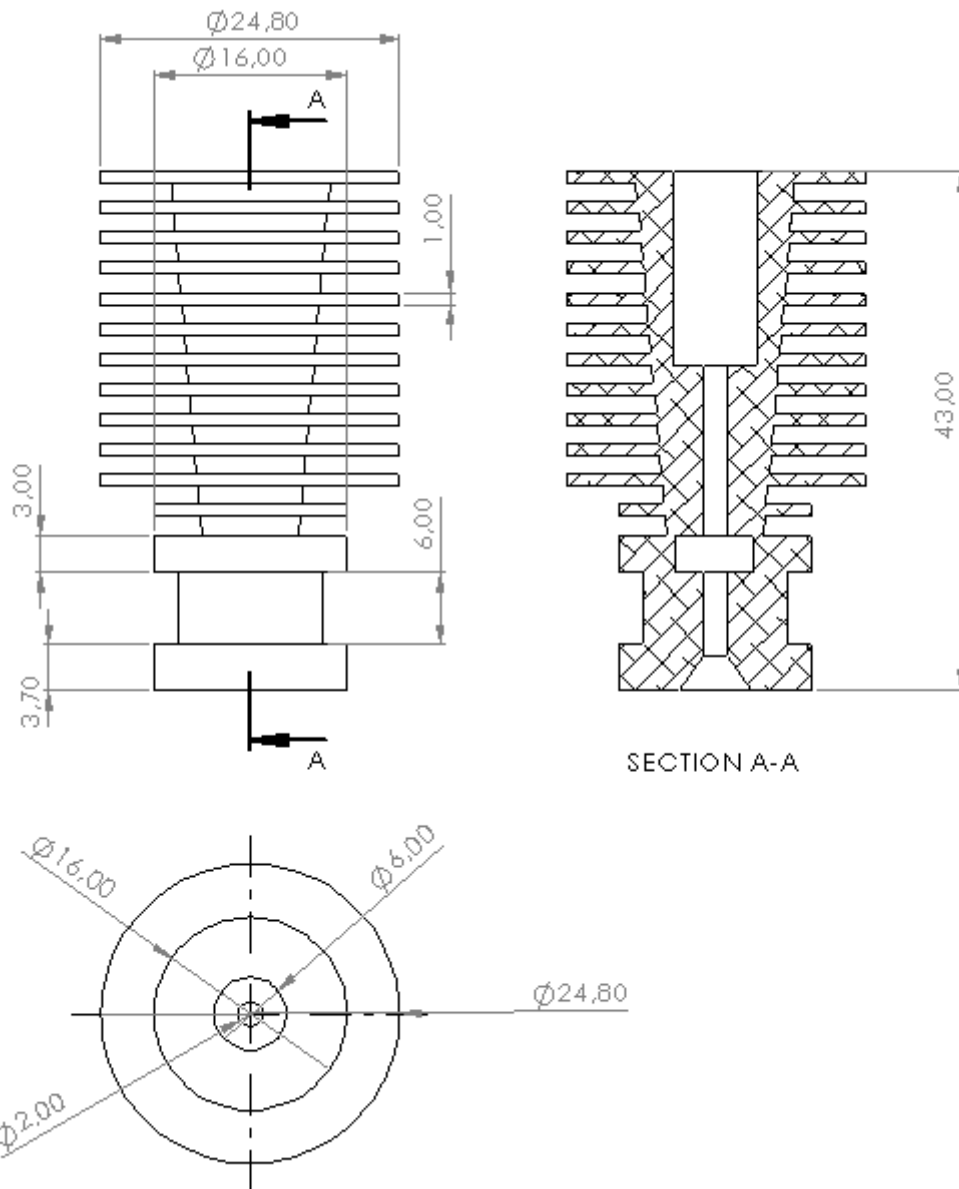
Узагальнюючи можна сказати, що спроектована збірка може використовуватися і в подальших дослідженнях, змінюючи різноманітні параметри як геометричні та і фізичні властивості самих компонентів, що дозволить інженерам підібрати оптимальні показники для роботи їхнього 3Д принтера. Таким чином мета магістерської роботи досягнута, як результат є 3Д моделі усіх компонентів, конструкторські креслення та результати проведених досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алямовський А.А. «SolidWorks\CosmosWorks Інженерний аналіз методом скінчених елементів» «ДМК». – Москва, 2004 рік – 430 с.
2. Наталя Дударєва, Сергій Загайко «SolidWorks 2009 на прикладах» «БХВ». – Санкт-Петербург, 2009 рік – 530 с.
3. Алямовський А.А. «SolidWorks комп'ютерне моделювання в інженерній практиці» «БХВ». – Санкт-Петербург, 2005 рік – 800 с.
4. Прохороенко В.П. SolidWorks. Практическое руководство – М.: ООО «Бином-Пресс», 2004 рік – 448 с.
5. SolidWorks Motion Tutorial 2013 – Dassault System SolidWorks Corporation, 2013. –200
6. Mike Spens «Automating SOLIDWORKS 2015 Using Macros» - SDCPublication ,2015. – 385
7. Э. Канесса, К. Фонда, М. Зеннаро Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития
8. Горьков Дмитрий. «3D печать з нуля», 205р – 400 с.
9. Рэдвуд Б. «3D-друк. Практичне керівництво», 2010 – 300 с.
10. Sean Aranda «3D Printing Failures: 2020 Edition: How to Diagnose and Repair ALL Desktop 3D Printing Issues Kindle Edition». 2020 – 295 с.
11. Електронний ресурс - https://himfaq.ru/books/3d-pechat/3D-pechat_kоротко-yasno-skachat-besplatno.pdf
12. Електронний ресурс
<https://www.solidsolutions.co.uk/solidworks/simulation/features/motion.aspx>
13. Електронний ресурс - <http://help.solidworks.com/>

ДОДАТКИ

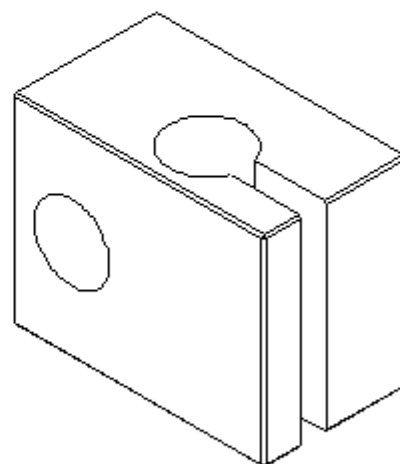
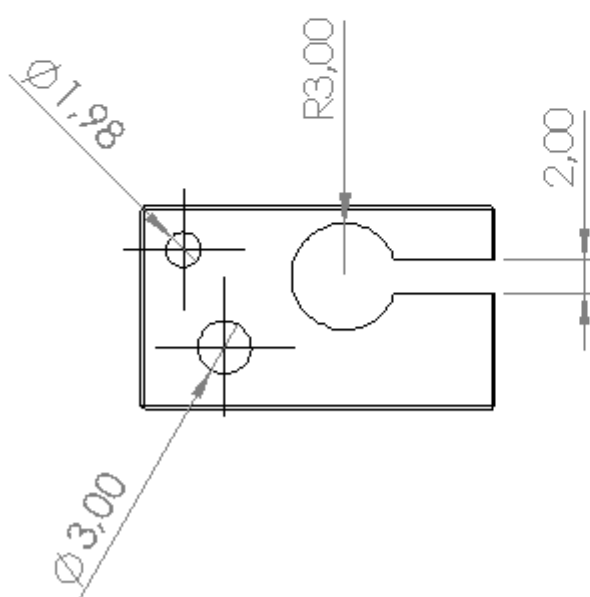
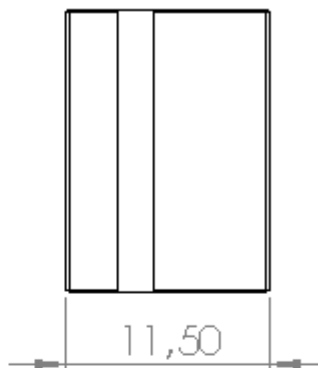
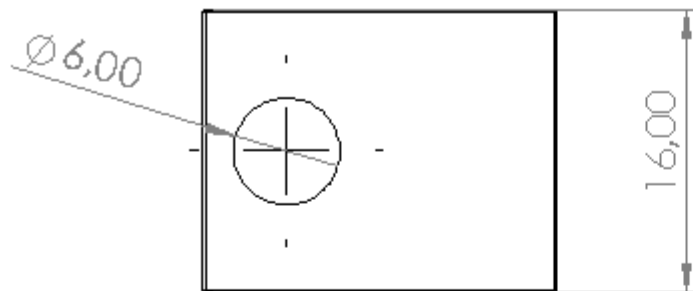
А. Складальні креслення



Радіатор екструдера

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата			
Разраб		Максимів Ю.			Литера	Лист	Листов
Пров		Левкович М.В			у	1	5
Н. Контр.					ст.групи КН-6(м)		

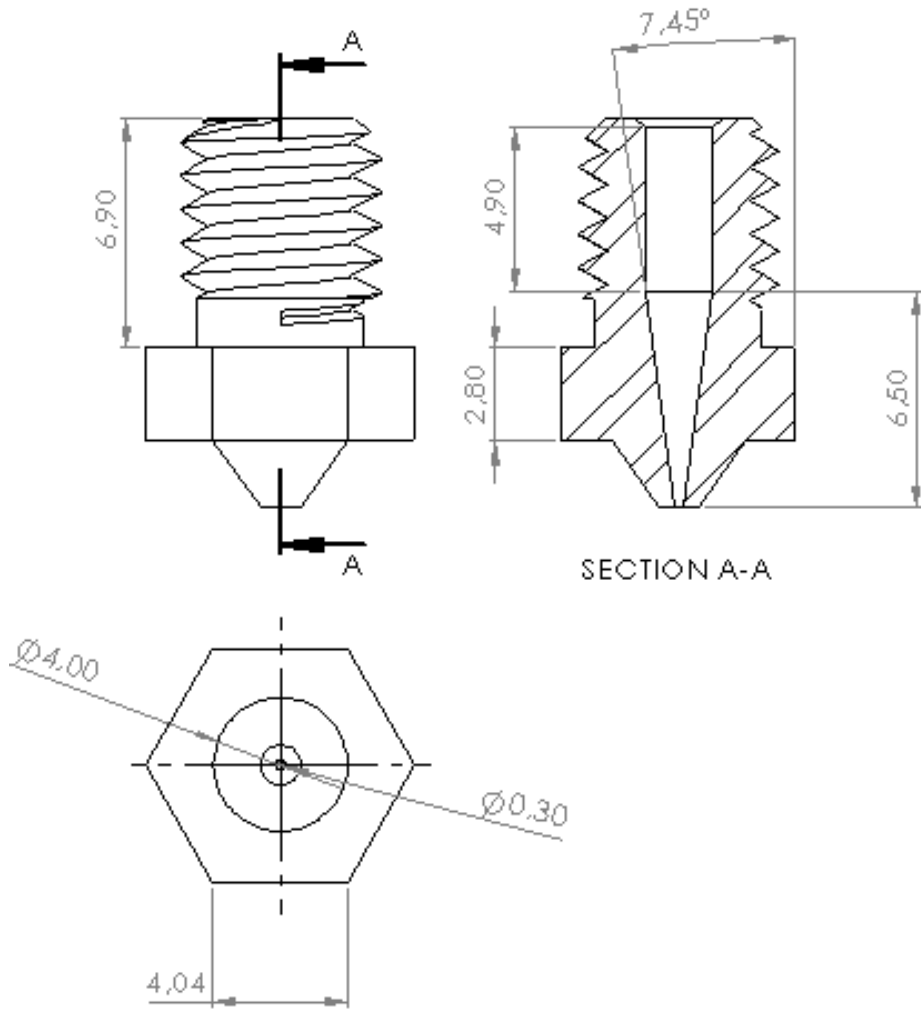
Утв



Нагрівальний блок екструдера

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Литера	Лист	Листов
Разраб		Максимів Ю.			у	2	5
Пров		Левкович М.В			ст.групи КН-6(м)		
Н. Контр.							

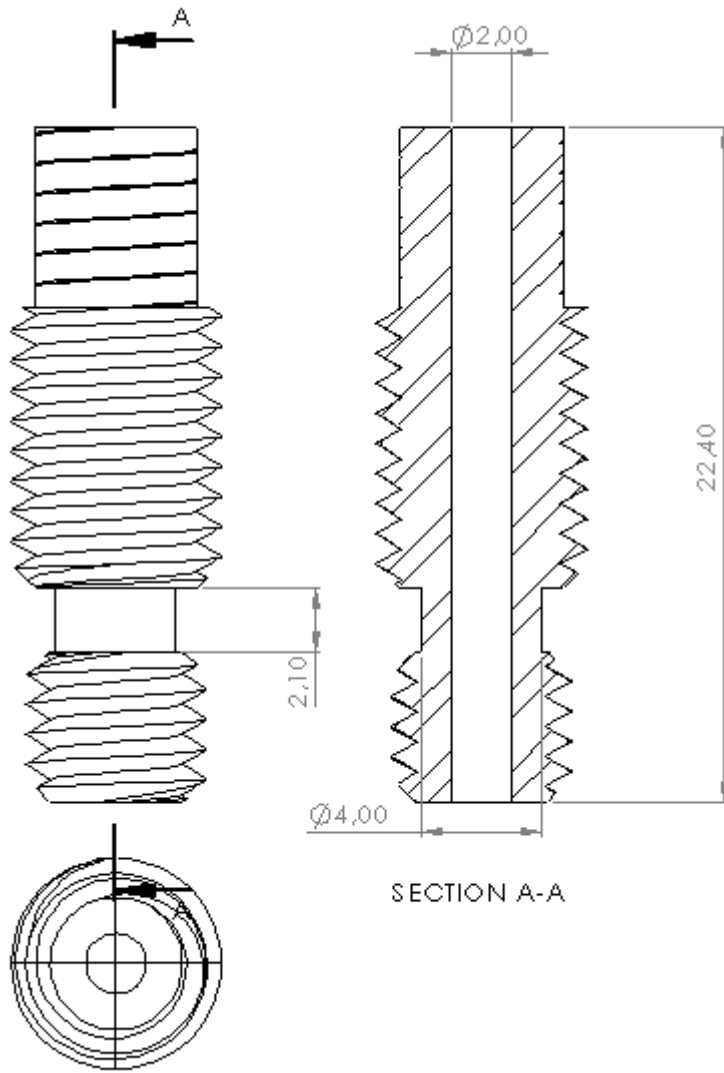
Утв



Сопло экструдера

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб</i>		<i>Максимів Ю.</i>				<i>у</i>	<i>3</i>	<i>5</i>
<i>Пров</i>		<i>Левкович М.В</i>				<i>ст.групи КН-6(м)</i>		
<i>Н. Контр.</i>								

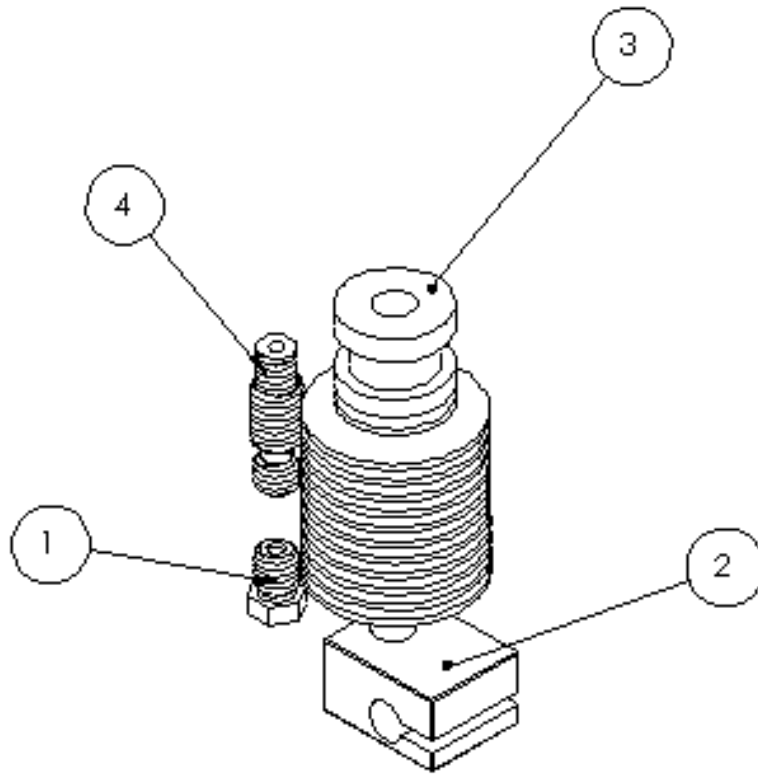
Утв



Термобарел екструдера

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб</i>		<i>Максимів Ю.</i>			<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>		<i>Левкович М.В</i>			<i>y</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Н. Контр.</i>					<i>ст.групи КН-6(м)</i>		

Утв



- 1 – сопло
- 2 – нагрівний блок
- 3 – радіатор
- 4 - термобар'єр

					<i>Складові екструдера</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб</i>		<i>Максимів Ю.</i>			<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров</i>		<i>Левкович М.В</i>			<i>у</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<i>Н. Контр.</i>					<i>ст.групи КН-6(м)</i>		

Утв