

Автор: Шостак Ірина Тарасівна,  
студентка НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського"

## **Тема: «Використання комп'ютерних технологій для створення моделі колінного суглобу»**

**Мета статті.** Створення моделі колінного суглобу у середовищі COMSOL Multiphysics з використанням SolidWorks для подальшого дослідження.

**Огляд літератури.** Коліно є суглобом, що несе основне навантаження нашого тіла і як наслідок – один з суглобів, найбільш схильних до травм і хвороб.

Колінний суглоб є найбільшим суглобом людського організму. Він приймає на себе велике навантаження і робить можливим відтворення самих складних дій. Колінний суглоб утворений трьома кістками:

- великогомілковою;
- стегною;
- надколінником (колінною чашечкою).

Колінна чашечка розташовується в товщі зв'язок і стабілізує суглоб при згинаннях/розгинаннях, запобігаючи зсув кісток убік. Додаткова стійкість колінного суглоба забезпечується зв'язками[1].

Для більш щільного з'єднання всередині коліна і для рівномірного розподілу тиску стегна на кістку існують два меніска: медіальний і латеральний. Вони, мають форму півмісяця, змінюючи своє положення і форму, пом'якшують рух і тертя всередині колінного суглоба. Між собою меніски з'єднані поперечною зв'язкою, а своїми краями кріпляться до відповідних кісток коліна.

Коліно здійснює рух по 2 осях:

- у фронтальній – розгинання/згинання;
- по вертикальній – обертання.

Функція суглобового хряща полягає у зменшенні сил тертя при русі в суглобі, а також в амортизації ударних навантажень.

Суглобна поверхня змочується синовіальною рідиною, яку, як у капсулі, зберігає суглобна сумка. Синовіальна рідина забезпечує зменшення коефіцієнту тертя в суглобі приблизно у 20 разів.

Колінний суглоб здатний витримати навантаження до 1 тони – на нього «тисне» власна вага тіла, а при виконанні рухів (біг, стрибки, спуск по сходах) осьове напруження зростає багаторазово [2]. При ходьбі в суглобі розвиваються зусилля у 2,67 рази більше за вагу тіла людини, а під час ходьби по сходах сила перевищує у 3,51 вагу тіла.

**Програмне забезпечення.** COMSOL Multiphysics призначена для моделювання та симуляції будь-якої системи, заснованої на фізиці. За допомогою програмного пакету COMSOL Multiphysics інженери і вчені моделюють конструкції, пристрої та процеси у всіх областях інженерних, виробничих і наукових досліджень. Він включає в себе всі етапи моделювання: від створення геометрії, визначення механічних властивостей матеріалів і опису фізичних явищ, до налаштування вирішення і процесу заключної обробки, що дозволяє отримувати точні і надійні результати [3].

Також COMSOL є гнучкіший у використанні, дозволяє розробнику самостійно задавати рівняння для обрахунку, та справляється із симуляцією мультифізичних процесів. Також графічний інтерфейс користувача програмного продукту COMSOL більш зручний. В нових версіях COMSOL (5.0 та вище) опція Import добре функціонує із складною трьохвимірною геометрією. COMSOL Multiphysics не має жорстких обмежень, які зазвичай властиві пакетам для моделювання, і можна керувати усіма аспектами моделі.

Для створення креслень та 3D моделі елементів можна використовувати програмний комплекс SolidWorks 2017. В системі SolidWorks підтримуються всі основні стандарти представлення та обміну даними.

Робота з інтерфейсом SolidWorks при виконанні ескізів, створення моделей деталей, моделей зборок, а так само креслень, комфортна так як

інтерфейс інтелектуальний і розроблений з урахуванням особливостей користувача. Є найбільш повний опис геометричних і фізичних властивостей об'єкта, що дозволяє конструктору створювати об'ємні деталі і компоувати зборки у вигляді тривимірних електронних моделей, за якими створюються двовимірні креслення і специфікації відповідно до вимог єдиної системи конструкторської документації(ЄСКД) [4].

При створенні ескізі в середовищі SolidWorks немає необхідності відстежувати стиль лінії, автоматично відображаються використовувані взаємозв'язки (горизонтальність, вертикальність, збіг точок). Команда "Розмір" дозволяє проставляти розміри: відрізка, радіуса, кута, діаметра не змінюючи команди "розмір".

При створенні ескізу є доступ до повного набору геометричних побудов і операцій редагування. Ескіз конструктивного елемента може бути легко відредаговано у будь-який момент роботи над моделлю.

**Креслення елементів.** Обравши середовище для побудови креслення конструкції ендопротезу колінного суглобу SolidWorks представлено проєкційні креслення. На даних кресленнях вказані відповідні розміри трьох елементів ендопротеза колінного суглоба: стегнового компонента (рис. 1), вкладиша (рис. 2) та великогомілкового компонента (рис. 3). Всі розміри подані в міліметрах.

На рисунках зображені креслення у трьох виглядах: спереду, збоку та зверху.

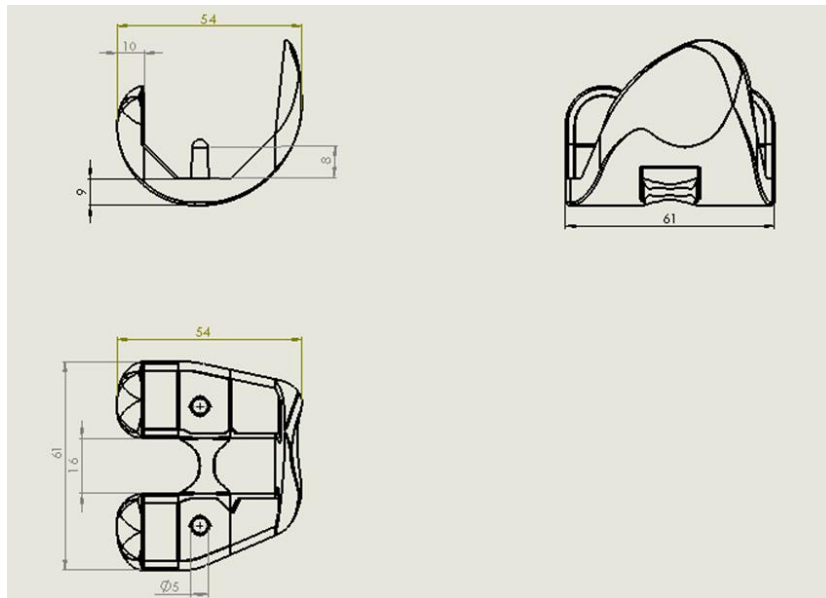


Рисунок 1 – Проекційне креслення стегового компонента

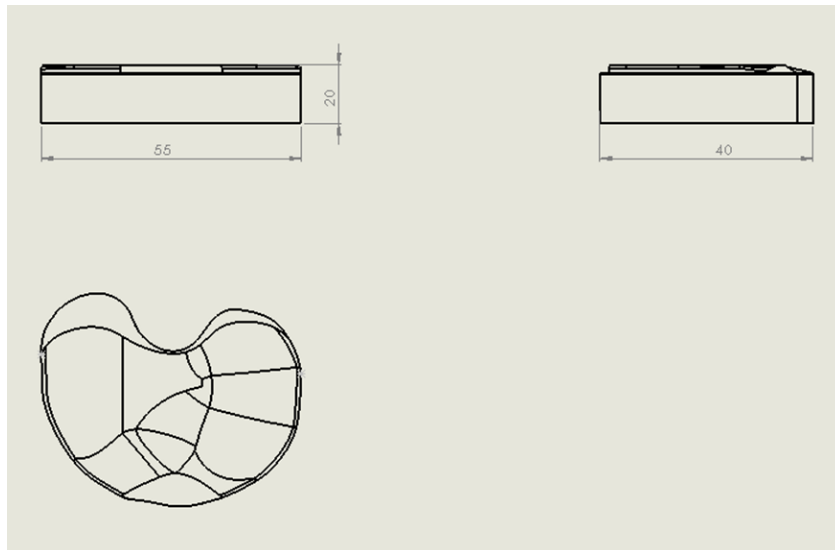


Рисунок 2 – Проекційне креслення вкладиша

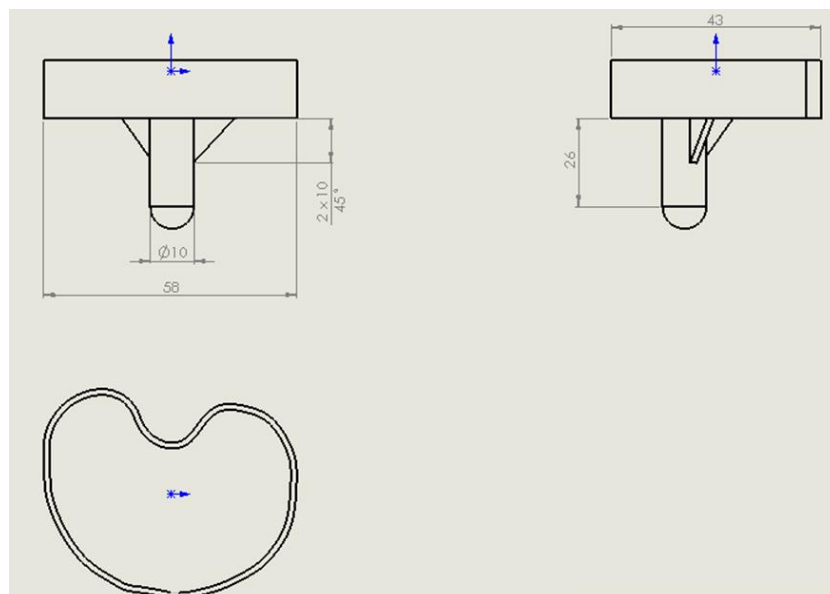


Рисунок 3 – Проекційне креслення великогомілкового компонента

**Створення 3 моделей.** Стегновий компонент зазвичай складається зі сплаву металів і замінює зношені поверхні стегнової кістки. Потім слідує пластикова ковзаюча опора з поліетилену, яка замінює суглобову щілину. Великогомільковий компонент виконаний з титану і замінює зношені частини великої гомількової кістки. Можливий варіант, коли задня поверхня колінної чашечки видаляється і замінюється металом. Через те, що даний четвертий компонент використовується рідко його моделювати не будемо [5].

Була створена 3D модель модульного ендопротезу колінного суглоба у середовищі SolidWorks та імпортовано в COMSOL Multiphysics. Матеріали що задані складовим ендопротезу: стегновий і великогомілковий компонент – сплав титану (Ti-6Al-4V); вкладиш – надвисокомолекулярний поліетилен.

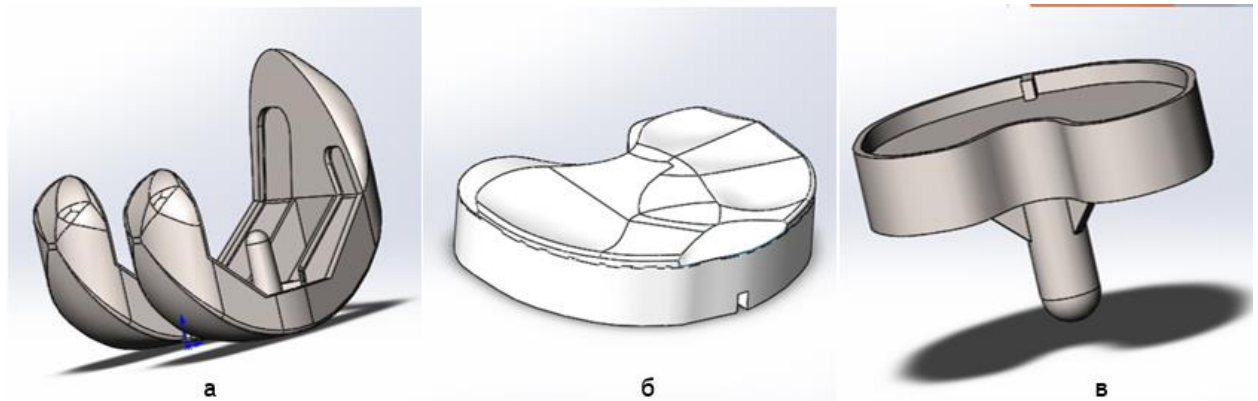


Рисунок 4 – 3D моделі в середовищі SolidWorks: а – стегновий компонент; б – вкладиш; в – великогомілкового компонент

В стегновому та великогомілковому компонентах наявні штирі. Вони вставляються в головки кісток людини для закріплення в них. Штирь в великогомілковому компоненті має два додаткових ребра жорсткості, що дають додаткове з'єднання з кісткою та щільніше закріплюють протез. Пази на поверхні великогомілкового елемента забезпечують стійкість вкладиша.

Стегновий елемент має виїмку для щільного контакту, що дає краще з'єднання з кісткою. Головки стегового елемента з'єднуються посередині, для запобігання зайвих деформацій протезу та надає додаткову жорсткість.

Вкладиш має виїмки для кращого ковзання та повторює форми менісків. Також він виготовляється з еластичного матеріалу, що додає пластичності та запобігає перевантаженню.

Створивши кожен компонент моделі окремо – їх було скомпоновано в модульний ендопротез колінного суглоба(рис.5) для подальшого дослідження в COMSOL. На рисунку 5 видно повноцінний ендопротез колінного суглоба.

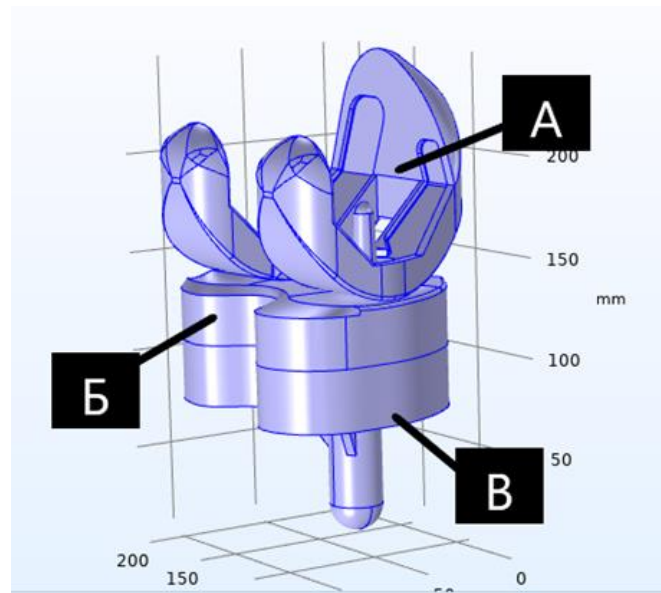


Рисунок 5 – 3D модель модульного ендопротезу колінного суглоба в середовищі COMSOL Multiphysics

А – стегновий компонент; Б – вкладиш; В – великогомілковий компонент.

За допомогою модуля LiveLink for SOLIDWORKS в COMSOL Multiphysics було імпортовано 3D модель ендопротезу колінного суглобу [6], яка раніше була створена в SolidWorks, для подальшого дослідження особливості деформування протезу колінного суглобу.

В середовищі Comsol Multiphysics 5.5 для елемента вкладиш задано матеріал з бібліотеки, а саме High density polyethylene (HDPE) [solid] [7]. Стегновому та великогомілковому елементам створено три різних матеріали: сплави на основі титану, кобальту і нікелю.

## Література

1. Колінний суглоб: анатомія, травми і хвороби, лікування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arthroscopy.kiev.ua/ua/колінний-суглоб.html>.

2. Григор'єва Л. І. Основи біофізики і біомеханіки: навч. посіб. / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін. – Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 297 с.

3. Оптимизация и анализ поведения реальных устройств и процессов с помощью моделирования [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/comsol-multiphysics>.

4. Особливості системи автоматизованого проектування SolidWorks. // науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". – 2014. – №15. – С. 127–130.

5. Эндопротезирование коленного сустава (Замена коленного сустава) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.primomedico.com/ru/lecheniye/protezirovanie-kolennogo-sustava/>.

6. Интеграция SOLIDWORKS® с COMSOL Multiphysics® [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/livelihood-for-solidworks>.

7. Доля П. Г. Основи моделювання в COMSOL Multiphysics // Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, факультет математики і інформатики кафедра теоретичної і прикладної інформатики 2019 р. – С. 167.