



DOI: 10.6084/m9.figshare.14760999

LCC - № RD32-33.9

МОДЕЛЬ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ЛЕГЕНЬ

Попов Станіслав Володимирович¹, Лебедєв Олексій Володимирович¹

¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Corresponding author: Попов Станіслав Володимирович, бакалавр. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 03056, м. Київ, вул. Янгеля, 16/2

E-mail: meastrojoshi@gmail.com

Abstract. The Thoracic Surgery Database of the Society of Cardiothoracic Surgery in the United Kingdom and Ireland, published in 2011, records a total of 109,388 lung resections or lobes of lung cancer performed between 1980 and 2010, with a significant increase from 2005 onwards.

The Korean Statistical Office claims that from January 2010 to December 2014, 25,687 patients underwent 25,921 lung surgeries with cancer. The number of patients operated annually from 2010 to 2014 increased by 45.1%.

Every year in Ukraine, lung cancer is diagnosed in 13,000 people, of whom 9,000 die every year. According to the National Registry of Ukraine, 6 out of 10 patients with lung cancer do not live for 1 year from the moment of diagnosis. In 2016, the average incidence of tuberculosis, which is also one of the causes of lung surgery, in

Ukraine was approximately 91 people per 100,000.

The American Lung Cancer Society estimates, that in the United States of America by 2021 about 235,760 new cases of lung cancer occurred (119,100 in men and 116,660 in women).

All of these factors of the increase in lung cancer over the past 30 years have led to an increase in the market capitalization of instruments and services for lung cancer and tuberculosis treatment. In the United States alone, lung diseases cost more than 50 billion US dollars. Purpose: model and study on the static load on a tool for lung welding in SOLIDWORKS. The instrument was modeled based on a bipolar clamp for transmural ablation of the conductive pathways of the heart and

electrosurgical bipolar tweezers according to the patent 184388 RU.

The tool was modeled for research using surgical steel for its best biophysical characteristics (non-stick, reduced adhesion and charring of tissues) and copper to improve its physical characteristics (electrical and thermal conductivity).

As a result, a model of a tool for lung welding was created, a research was conducted on the created tool, found the optimal pressure and displacement while the compression of the parenchyma and bronchi, required force to achieve optimal parameters and safety margin of the tool under this compression.

Анотація. Звіт про базу даних торакальної хірургії Товариства кардіоторакальної хірургії у Великобританії та Ірландії, опублікований у 2011 році, фіксує загальну кількість 109 388 резекцій легень чи долей легень, виконаних між 1980 і 2010 роками - зі значним збільшенням показника з 2005 року далі.

Корейська служба статистичної інформації стверджує, що з січня 2010 року по грудень 2014 року 25 687 пацієнтам було проведено 25 921 операцію легень з раком. Кількість прооперованих щорічно з 2010 по 2014 рік зростає на 45,1%.

Кожен рік в Україні рак легень діагностують у 13 000 чоловік, з яких 9000 кожен рік помирає. За даними національного реєстру України, 6 з 10 пацієнтів з раком

легень не проживають 1 рік з моменту постановки діагнозу. У 2016 році середня захворюваність зокрема на туберкульоз, який також є однією з причин проведення операцій на легенях, в Україні склала приблизно 91 людину на 100 тисяч населення.

За оцінками ж Американського товариства раку легень у США на 2021 рік: близько 235 760 нових випадків раку легень (119 100 у чоловіків та 116 660 у жінок).

Всі ці фактори збільшення кількості захворювань на рак легень впродовж 30-ти років призвели до збільшення капіталізації ринку інструментів та послуг для проведення операцій для лікування раку легень та туберкульозу. Лише в США захворювання легень коштували більше 50 млрд. доларів. Мета роботи: модель та дослідження на статичне навантаження інструменту для зварювання легень у середовищі SOLIDWORKS. Моделювання інструменту відбувалось на основі біполярного затискача для проведення трансмуральної абляції провідних шляхів серця та електрохірургічного біполярного пінцету з патенту 184388 RU.

Інструмент було змодельовано для дослідження з використанням хірургічної сталі для кращих його біофізичних характеристик (антипригарності, зменшення адгезії та обуглення тканин) та міді для покращення його фізичних характеристик (електро- та теплопровідності).

В результаті було створено модель інструменту для зварювання легень, було проведено дослідження на створеному інструменті, знайдені оптимальні тиск та переміщення при моделюванні стиснення

паренхіми та бронхів, прикладену на інструмент силу для досягнення оптимальних параметрів та запас міцності інструменту при даному стисненні.

Ключові слова: SOLIDWORKS, інструмент, зварювання легень, запас міцності.

Keywords: SOLIDWORKS, tool, lung welding, safety margin.

Section: Clinical Engineering in Surgery

Introduction. Щорічно проводиться близько 37 тис. операцій в областях абдомінальної та торакальної хірургії, травматології, пульмонології, проктології, урології, мамології, офтальмології, нейрохірургії та ін., з використанням ВЧ електрозварювання. Та на сьогоднішній день не існує повноцінного інструменту для зварювання легень, який зміг би гарантовано впоратись з особливо твердими її частинами, такими як бронхи, замість цього використовують загальні інструменти для зварювання м'яких тканин.

Структура легень неоднорідна, окрім паренхіми, бронхів, альвеол, трахеї, кровоносних судин легені, під час зварювання, легені заповнені повітрям, що привносить складнощі в процес зварювання. Це вимагає від інструменту підвищених параметрів надійності та міцності.

Objective. Модель та дослідження на статичне навантаження інструменту для зварювання легень.

Materials and methods. SOLIDWORKS – це система автоматизованого проектування (САПР), що призначена для 3D-моделювання інструментів, приладів, фізичних процесів, тощо. При роботі з програмою зустрічається багато знайомих користувачам елементів інтерфейсу Windows, і в той же час програма повністю перекладена українською та російською мовами.

За допомогою SOLIDWORKS Simulation можна прогнозувати поведінку виробів в реальній експлуатації. Для цього цифрова САПР-модель аналізується методом скінченних елементів (МСЕ). Можна проводити лінійний статичний, нелінійний статичний і динамічний аналіз [1].

Основними компонентами інструменту для зварювання легень є бранші, між якими розміщується легенева тканина. Бранші приводить в дію механізм тримання, далі – тримач, та механізм натискання, далі – натискач. За основу моделі був взятий та підсилений біполярний затискач для проведення трансмуральної абляції провідних шляхів серця [2]. Для перетворення обертального руху ручки натискача в прямолінійний рух натискача використані шатун та подовжувач. Розміри в середовищі SOLIDWORKS задаються в мм.

Рис. 3 – Ескізи: а) - з'єднувальної частини тримача з ручкою тримача; б) - вирізу для ручки тримача

Ескіз для витягнення бобишки декількох тіл зображений на рисунку 4: зовнішній контур – частина тримача, в подальшому об'єднана з бобишкою на рис. 3 в одне тіло, внутрішній шар – окреме від тримача тіло натискача, середній шар – окреме тіло діелектричного шару між тримачем і натискачем для уникнення короткого замикання.

Для з'єднання основного тіла тримача із з'єднувальною частиною тримача з ручкою створений ескіз проміжного елемента за габаритними розмірами обох тіл та витягнуто ескіз бобишки, показаної на рисунку 4, на 13 мм.

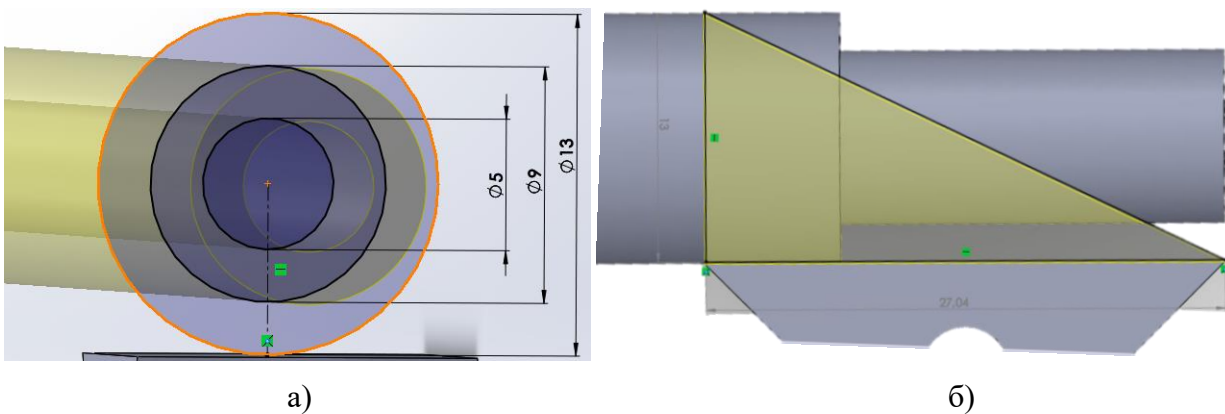


Рис. 4 – Ескізи: а) - для частини тримача, натискача, та діелектричної прокладки між ними; б) - проміжного елемента для з'єднання тіл тримача

Ескіз вирізу на проксимальному кінці тримача для натискача зображений на рисунку 5. Радіус кривизни вирізу рівний радіусу кривизни задньої частини натискача. Товщина легень в середньому, незалежно від статі рівна 90-100 мм.

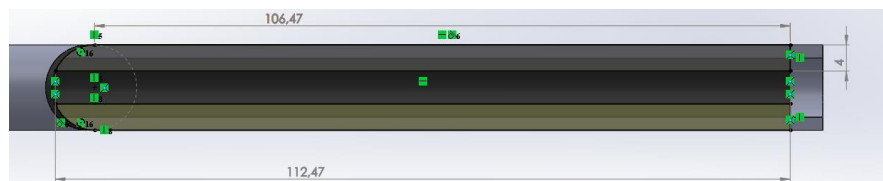


Рис. 5 – Довжина ходу натискача

Бобишку тіла натискача витягнуто на 350 мм. В даному інструменті електрод натискача є повзуном діаметру 4,8 мм. Кінець електроду натискача має виріз, та отвори діаметром 2,4 мм для з'єднання із шатуном за допомогою штифта. Інший кінець електроду зроблений з нержавіючої сталі, має фаски для зменшення площі контакту натискача з легеневою тканиною для розрізання. Фаски також контактують з боковими частинами розрізаної легені та зварюють їх. Бранш натискача показаний на рисунку 6.

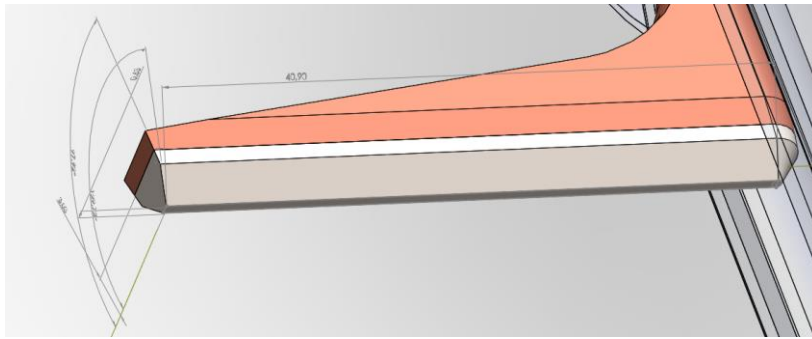
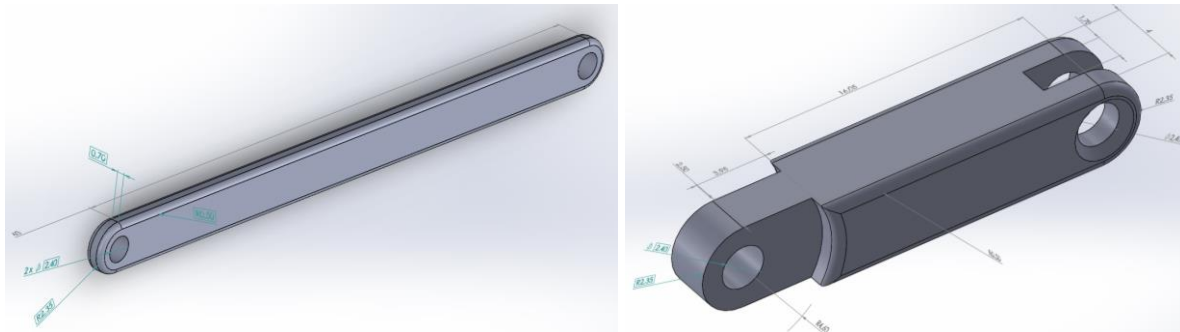


Рис. 6 – Мідний електрод з браншом, виконаним із нержавіючої сталі

Шатуни в інструменті, показаний на рисунку 7а, використовуються для перетворення обертального руху ручок інструменту в прямолінійний рух електроду натискача. Траєкторія руху натискача проходить вздовж осі циліндру. Подовжувач на рисунку 7б використовується для з'єднання шатуна з рукою натискача із додатковими вирізами для діелектричних прокладок. Подовжувач потрібен для компенсації неточностей при виготовленні інструменту та задання початкового положення ручок.



а)

б)

Рис. 7 – Тіла: а) - шатуна; б) - подовжувача

Загальний вид інструменту складається в збірці SOLIDWORKS з окремих деталей інструменту через «Зв'язки» показаний на рисунку 8.

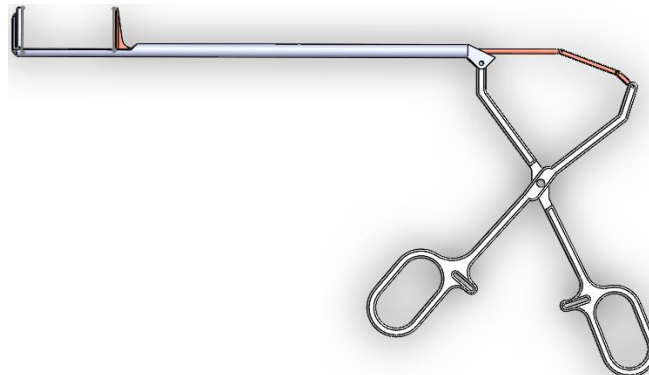


Рис. 8 – Вид готового інструменту

Для симуляції роботи приладу створені бобишка тіла паренхіми легені з розмірами 60x60x40 мм та бобишка тіла бронху 25x40 з товщиною стінки 4 мм. Тіла паренхіми легень та бронху показані на рисунку 9.

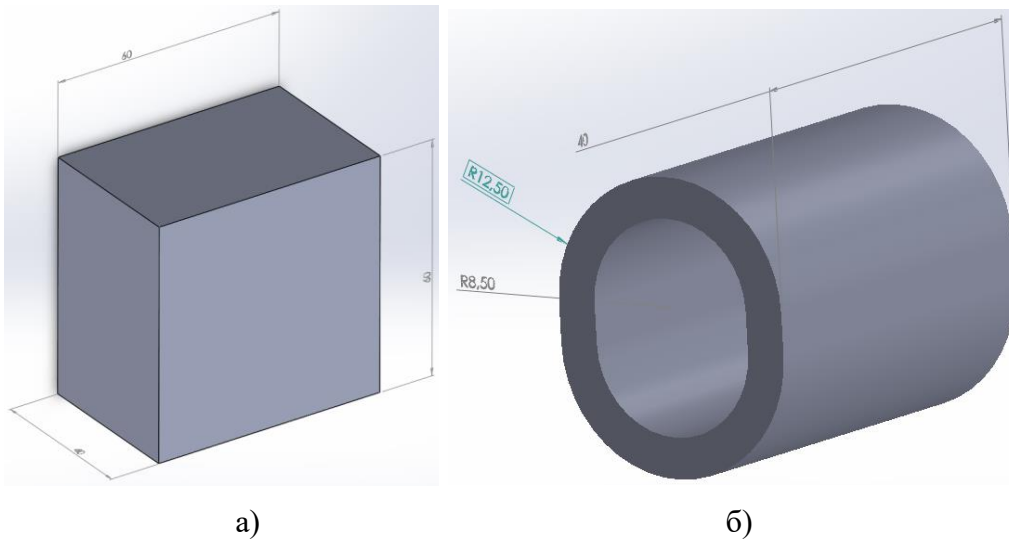


Рис. 9 – Тіла: а) - моделі паренхіми легень; б) – моделі бронху

Дослідження проводиться для паренхіми легень та для легеневих бронхів 2-го порядку з різною силою натискання для порівняння та отримання найбільш оптимального результату про силу натиску на інструмент для зварювання легені. Встановимо оптимальне значення коефіцієнту запасу міцності для інструменту для всіх досліджень рівне мінімум 3.

Характеристики матеріалів в SOLIDWORKS Simulation наведені на рисунку 10.

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2e+011	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	7.9e+010	Н/м ²
Массовая плотность	7900	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	600000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	400000000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	1.1e-005	/К
Теплопроводность	14	W/(м·К)

а)

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	1.1e+011	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.37	Не применимо
Модуль сдвига	4e+010	Н/м ²
Массовая плотность	8900	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	394380000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	258646000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	2.4e-005	/К
Теплопроводность	390	W/(м·К)

б)

Свойства материала
Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться. Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип модели:

Единицы измерения:

Категория:

Имя:

Критерий разрушения по умолчанию:

Описание:

Источник:

Sustainability:

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	5000000	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.48	Не применимо
Модуль сдвига	318900000	Н/м ²
Массовая плотность	1100	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	30000000	Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	10000000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения		/К
Теплопроводность	0.2256	W/(м·К)

в)

Свойства Таблицы и кривые Внешний вид Штриховка Настройка Данные программы

Свойства материала
Материалы в библиотеке по умолчанию не могут редактироваться. Необходимо скопировать материал в настроенную пользователем библиотеку и затем его отредактировать.

Тип модели:

Единицы измерения:

Категория:

Имя:

Критерий разрушения по умолчанию:

Описание:

Источник:

Sustainability:

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	60000	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.45	Не применимо
Модуль сдвига		Н/м ²
Массовая плотность	120.7	кг/м ³
Предел прочности при растяжении		Н/м ²
Предел прочности при сжатии		Н/м ²
Предел текучести	100000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения		/К
Теплопроводность	0.56	W/(м·К)

г)

Рис. 10 – Параметры материалов для инструмента: а) хирургична сталь; б) мідь; в) бронх 2-го порядку; г) паренхіма легені [3, 4]

Для браншів, які безпосередньо контактують з паренхімою легень застосовано хирургичну сталь марки 1.4301, яка володіє більшою міцністю до деформацій, що потрібно для досягнення питомого тиску в 2-6 Н/мм². Однак, без срібного напилення даний матеріал має достатньо низьку теплопровідність, що приведе до карбонізації тканини. Для збільшення тепло- та електропровідності місця контакту застосована мідь для електродів натискача та тримача [5].

Для зварювання паренхіми легень встановимо оптимальні значення: тиск на тканину по фон Мізесу: $2 \cdot 10^6$ Н/м², переміщення: 20-40 мм.

Дослідження проводиться за таких умов: бобишка паренхіми легень розміщена між браншами рівно по центру, до деталей застосований відповідний їм матеріал, всі місця з'єднань скріплені штифтами із обертальним опором 0 (Н·м)/рад для спрощення розрахунків, встановлено глобальний контакт: зв'язані тіла, закріплена ручка тримача та сам тримач. Умови моделювання показані на рисунку 11.

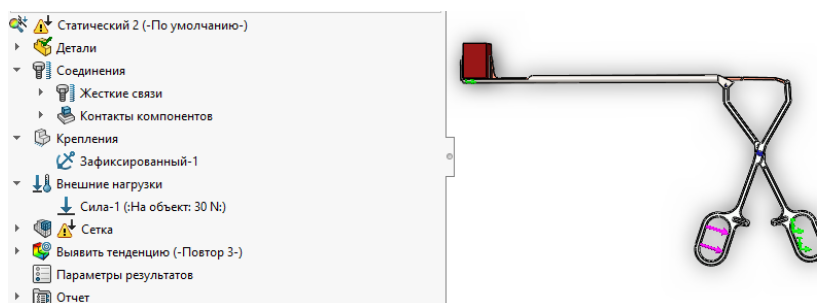


Рис. 11 – Вид інструменту із тканиною паренхіми між браншами та застосованими матеріалами та заданими параметрами дослідження

Досліджувані параметри: тиск на тканину по фон Мізесу, переміщення тканини, яке покаже наскільки вона стискається інструментом та запас міцності інструменту при прикладених силах натиску на ручку інструменту рівною 20 Н, 30 Н, 40 Н.

Після початку дослідження з різною силою натиску були отримані результати, наведені на рис. 12-17.

На рис. 12-13 зображено результати дослідження статичного навантаження інструменту на паренхіму легені із силою натиску на інструмент рівною 20 Н.

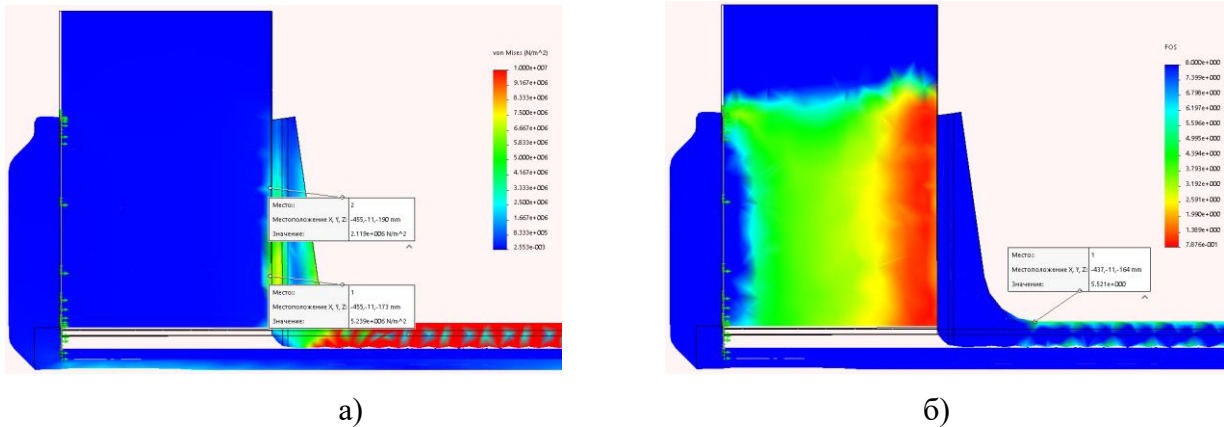


Рис. 12 – При силі 20 Н: а) - тиск на паренхіму легень; б) – запас міцності інструменту

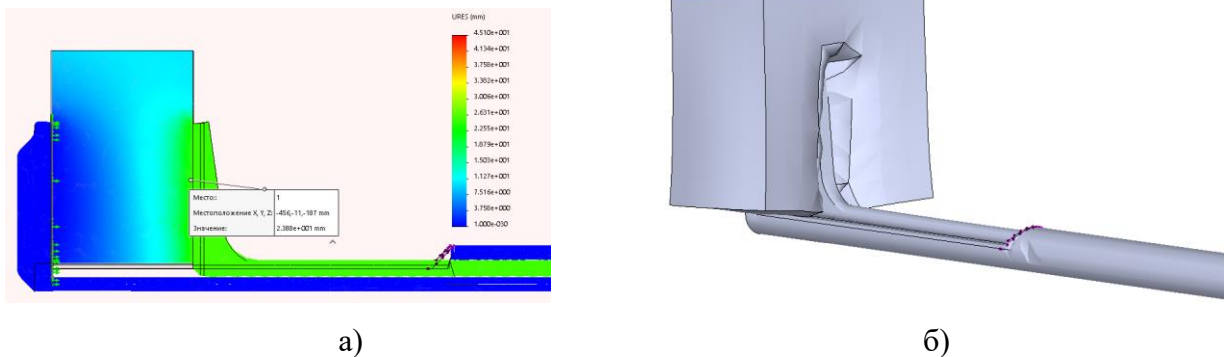


Рис. 13 – При силі 20 Н: а) – переміщення паренхіми; б) – деформація паренхіми

На рис. 14-15 зображено результати дослідження статичного навантаження інструменту на паренхіму легені із силою натиску на інструмент рівною 30 Н.

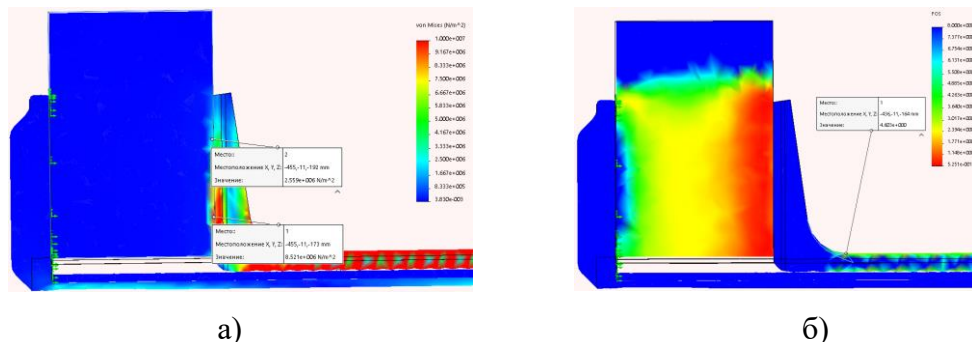


Рис. 14 – При силі 30 Н: а) - тиск на паренхіму легень; б) – запас міцності інструменту

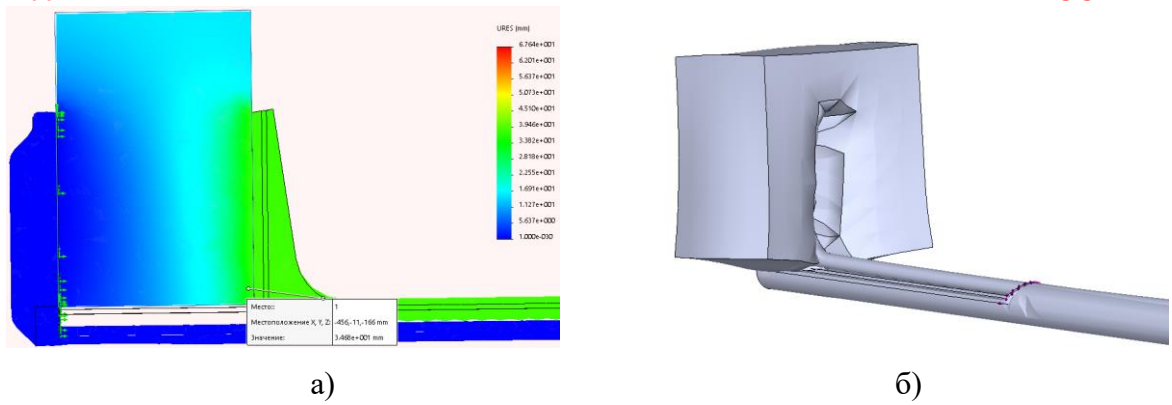


Рис. 15 – При силі 30 Н: а) – переміщення паренхіми; б) – деформація паренхіми

На рис. 16-17 зображено результати дослідження статичного навантаження інструменту на паренхіму легень із силою натиску на інструмент рівною 40 Н.

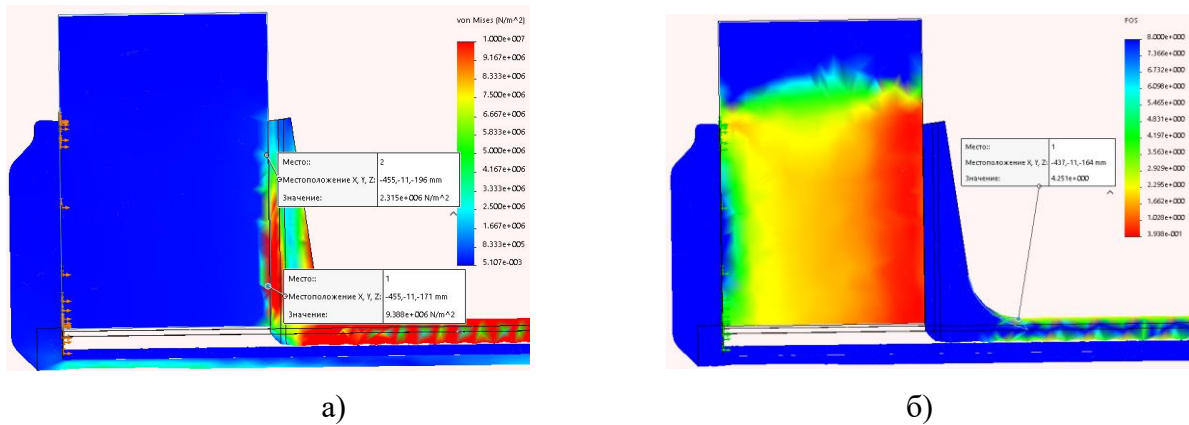


Рис. 16 – При силі 40 Н: а) - тиск на паренхіму легень; б) – запас міцності інструменту

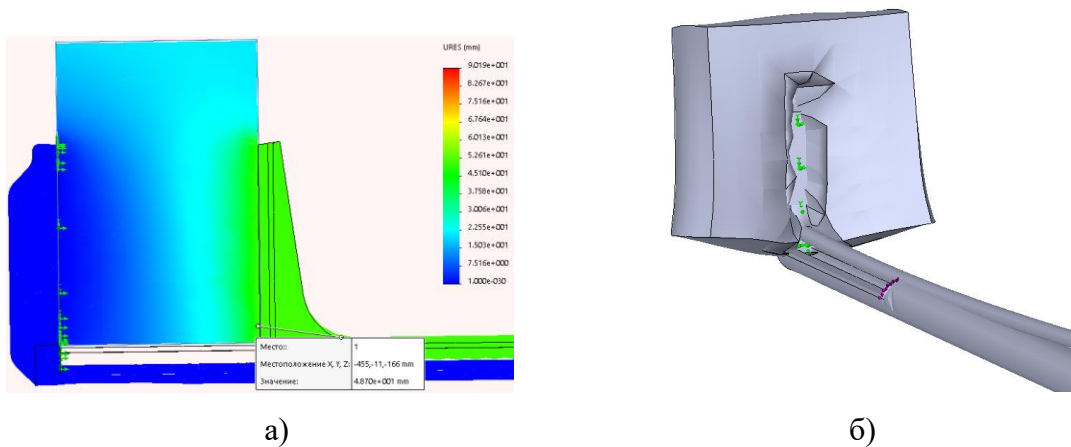


Рис. 17 – При силі 40 Н: а) – переміщення паренхіми; б) – деформація паренхіми

Результати дослідження стикування паренхіми легень зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження стискання паренхіми

Сила натиску, Н	Тиск на паренхіму, $\times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$		Стискання паренхіми, мм		Запас міцності інструменту	
	Отримано	Оптимально	Отримано	Оптимально	Отримано	Оптимально
20	2.1-5.2	2-6	0-24	20-40	>5.5	>3
30	2.5-8.5		0-35		>4.6	
40	2.3-9.4		0-48		>4.2	

Для зварювання бронхів 2-го порядку встановимо оптимальні значення: тиск на тканину по фон Мізесу: $4-6 \times 10^6 \text{ Н/ [мм]}^2$, переміщення: 11-16 мм. Переміщення для зварювання бронху є особливо важливим параметром, так як бронхи не є суцільною хрящовою тканиною, вони є пустотними та сама хрящова тканина погано проводить електричний струм, тому для кращого проведення електричного струму для їх зварювання потрібно, щоб внутрішня грань торкнулась сама себе протилежними її частинами, тобто, щоб бронх повністю стиснувся. Тому переміщення повинне бути рівним діаметру самого бронху.

Дослідження проводиться за таких умов: бобишка бронху розміщена між браншами рівно по центру, до деталей застосований відповідний їм матеріал, всі місця з'єднань скріплені штифтами із обертальним опором 0 (Н·м)/рад для спрощення розрахунків, встановлено глобальний контакт: зв'язані тіла, закріплена ручка тримача та сам тримач. Умови початку моделювання вказані на рисунку 18.

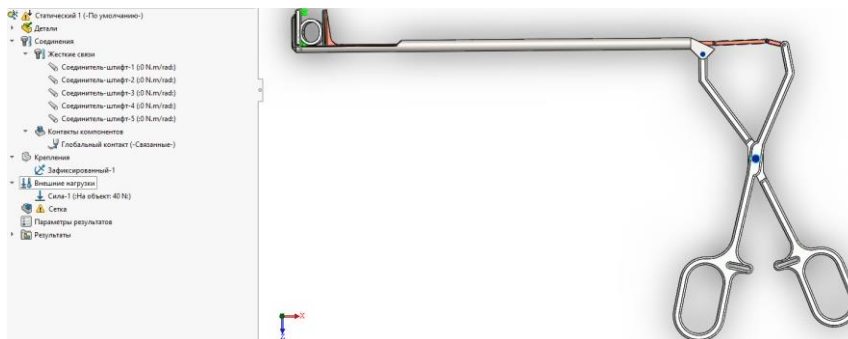


Рис. 18 – Вид інструменту із тілом бронху між браншами та застосованими матеріалами та заданими параметрами дослідження

Досліджувані параметри: тиск на бронх по фон Мізесу, переміщення тканини бронху, яке покаже наскільки бронх стискається інструментом та запас міцності інструменту при прикладених силах натиску на ручку інструменту рівною 20 Н, 30 Н, 40 Н.

Після початку дослідження з різною силою натиску були отримані результати, наведені на рис. 19-24.

На рис. 19-20 зображено результати дослідження статичного навантаження інструменту на бронх із силою натиску на інструмент рівною 20 Н.

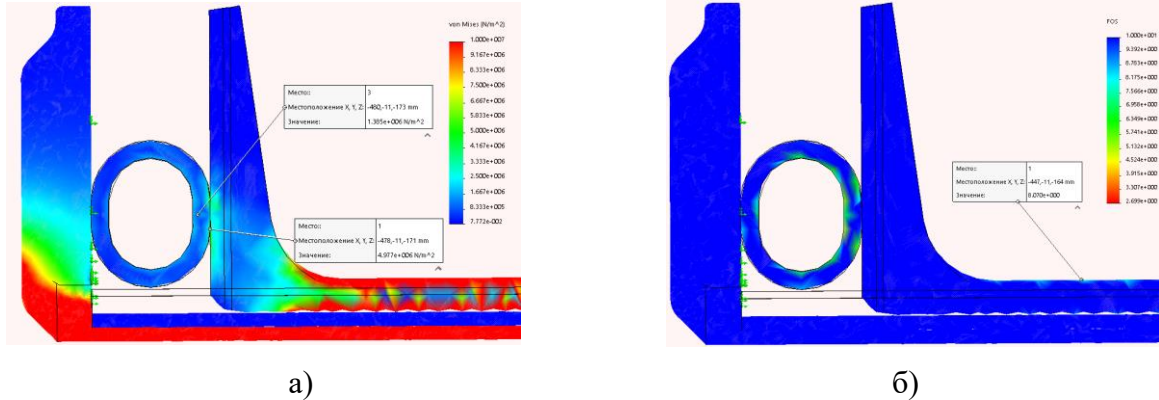


Рис. 19 – При силі 20 Н: а) - тиск на бронх; б) – запас міцності інструменту

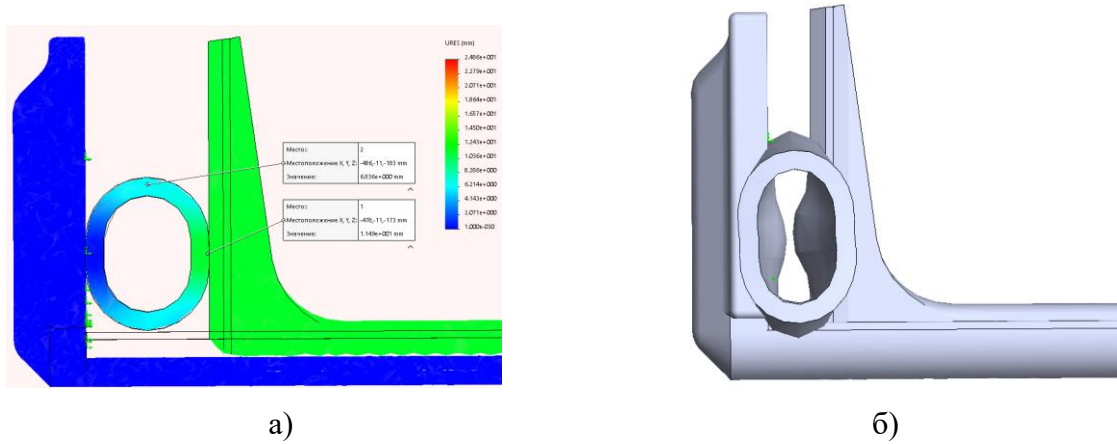


Рис. 20 – При силі 20 Н: а) – переміщення бронху; б) – деформація бронху

На рис. 21-22 зображено результати дослідження статичного навантаження інструменту на бронх із силою натиску на інструмент рівною 30 Н.

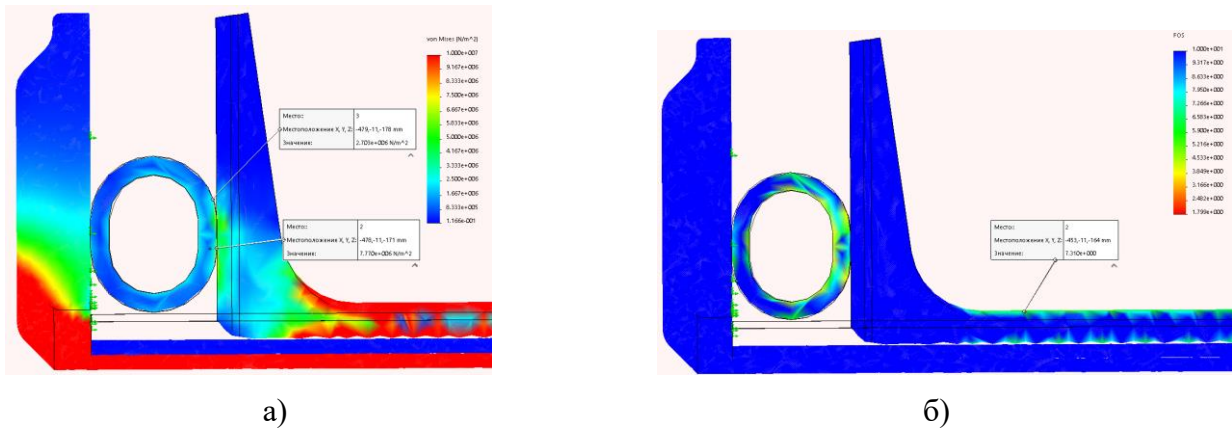
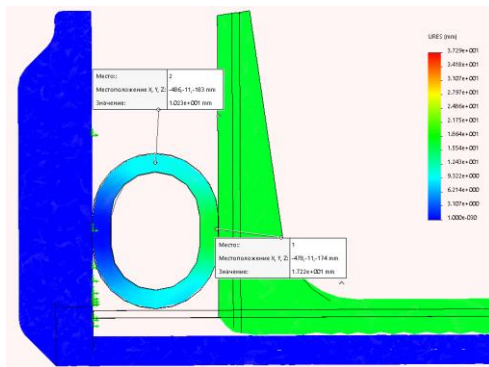
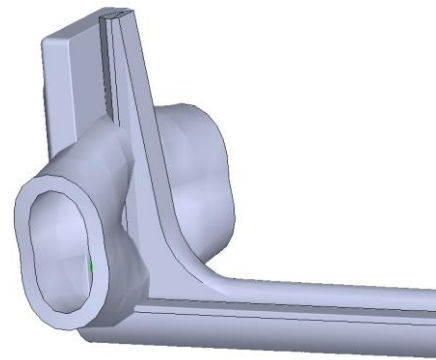


Рис. 21 – При силі 30 Н: а) - тиск на бронх; б) – запас міцності інструменту



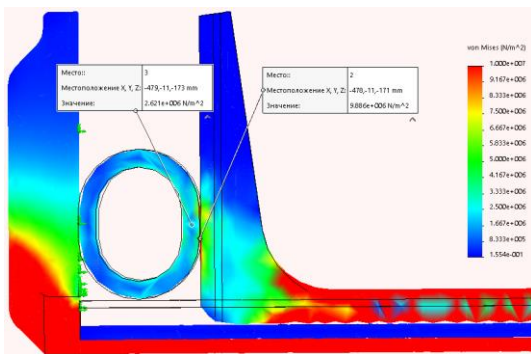
а)



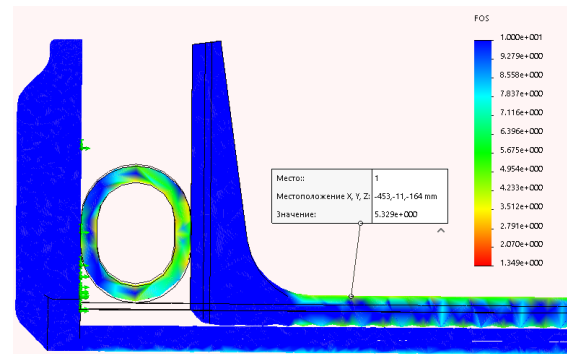
б)

Рис. 22 – При силі 30 Н: а) – переміщення бронху; б) – деформація бронху

На рис. 23-24 зображено результати дослідження статичного навантаження інструменту на бронх із силою натиску на інструмент рівною 40 Н.

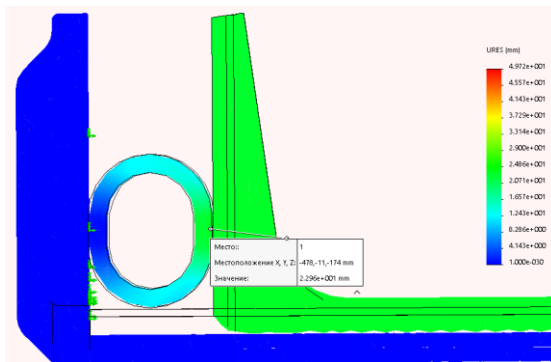


а)

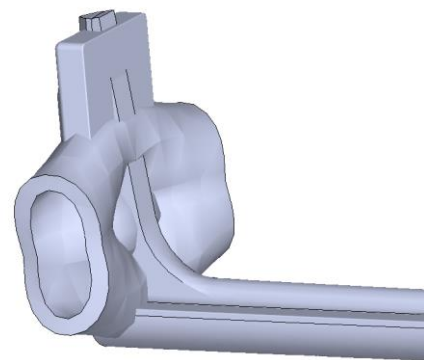


б)

Рис. 23 – При силі 40 Н: а) - тиск на бронх; б) – запас міцності інструменту



а)



б)

Рис. 24 – При силі 40 Н: а) – переміщення бронху; б) – деформація бронху

Результати дослідження стикування бронху зведені в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати дослідження стискання бронху

Сила натиску, Н	Тиск на бронх, $\times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$		Стискання бронху, мм		Запас міцності інструменту	
	Отримано	Оптимально	Отримано	Оптимально	Отримано	Оптимально
20	1.4-5	2-6	6-12	11-16	>8	>3
30	2.7-7.7		10-17		>7.3	
40	2.6-9.9		15-23		>5.3	

За даними результатів дослідження, приведених у таблицях 1-2 можна зробити наступні висновки:

- для зварювання тканини паренхіми легені оптимальною силою натиску є 20 Н. За даної сили натиску тканина зазнає оптимального для зварювання тиску $2.1-5.2 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$, стискається на оптимальну відстань 24 мм та інструмент при цьому не ламається, так як його запас міцності більше 5.5;

- при 30 та 40 Н не рекомендується проведення зварювання паренхіми легень, так як тканина зазнає надлишкового тиску та переміщення. Треба враховувати, що під дією електричного струму клітинні мембрани паренхіматозної тканини легень будуть руйнуватись та модуль пружності буде падати, що призведе до зменшення необхідного зусилля на інструмент для проведення зварювання, тому необхідне переміщення сягає 70% від товщини тканини;

- для зварювання бронху 2-го порядку рекомендована сила натиску на інструмент є 30 Н. При цьому досягається тиск на бронх рівний $2.7-7.7 \times 10 \text{ Н/м}^2$, переміщення тканини бронху рівне 10-17 мм, що дозволяє бронху повністю стиснутись для ефективного процесу електрозварювання та запас міцності інструменту більше 7.3, що не дає інструменту зламатись при проведенні операції;

- при прикладеній на інструменту силі 20 Н переміщення бронху недостатньо для проведення зварювання, так як бронх повністю не стискається, що видно з рисунку 20б;

- при прикладеній силі на інструмент в 40 Н стиснення є надмірним та ірраціональним, так як процес зварювання починається вже при 30 Н. Хоча в разі необхідності інструмент може витримати такі навантаження.

Отже, після проведених аналізів отримано:

- оптимальна сила, прикладена на інструмент для зварювання паренхіми легень рівна 20 Н, а для бронху – 30 Н;

- оптимальний тиск інструменту на паренхіму легень рівний $2.1-5.2 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$, на бронх – $2.7-7.7 \times 10^6 \text{ Н/м}^2$;

- при цьому переміщення тканини паренхіми легень сягає 24 мм, бронхів – 10-17 мм;

– мінімальний оптимальний коефіцієнт запасу міцності при стисканні легені – 5.5.

Conclusions. Було створено в системі автоматизованого проектування SOLIDWORKS модель інструменту, моделі паренхіми легені та бронхів. У пакеті SOLIDWORKS Simulation було першочергово проведено дослідження на статичне навантаження інструменту на паренхіму легень та на бронх 2-го порядку.

Після виконання дослідження на статичне навантаження був отриманий та проаналізований масив значень. Після аналізу було знайдено оптимальні значення тиску на ручку інструменту, тиску інструменту на паренхіму легені та на бронх, переміщення паренхіми і бронху під дією стискання інструменту та коефіцієнт запасу міцності інструменту під час стискання тканин. Отримані значення приведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати дослідження стискання тканин інструментом

Тканина	Сила тиску на ручку інструменту, Н	Оптимальний тиск на тканину, $\times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	Оптимальне переміщення тканини	Мінімальний коефіцієнт запасу міцності
Паренхіма легені	20	2.1-5.2	24	5.5
Бронх 1-го порядку	30	2.7-7.7	10-17	

Disclaimers: The author declares that they have no financial or personal relationships that may have inappropriately influenced them in writing this article.

Conflict of interest statement: The authors state that there are no conflicts of interest regarding the publication of this article.


ORCID: 0000-0002-8692-6677 Alexei V. Lebedev

REFERENCES:

1. SolidWorks: подробное описание программы для проведения трехмерного проектирования [Internet]. Junior3d.ru. 2017 [cited 8 June 2021]. Available from: <https://junior3d.ru/article/solidworks.html>
2. Патон Б, Кривцун И, Маринский Г, Худецкий И, Ланкин Ю, Чернец А. Сварка, резка и термическая обработка живых тканей. Автоматическая сварка. 2013;10-11:135-146.
3. Сапин М. Анатомия человека [Internet]. KINGMED INFO. 2020 [cited 8 June 2021]. Available from: <http://kingmed.info/media/book/5/4535.pdf>
4. Абрикосов А. Основные морфометрические характеристики внутренних органов человека. 1948;4:159-165.
5. Общество с ограниченной ответственностью “АТОМИКС”. Электрохирургический биполярный пинцет. RU; 184388, 2018.

PLAGIARISM REPORT:

Результаты

Свойства сканирования		2% Plagiarism	98% Уникальный
Количество слов : 1000 Полученных результатов : 1		<input type="button" value="Делать уникальным"/> <input type="button" value="Начать новый поиск."/>	Чтобы проверить плагиат на фотографиях, нажмите здесь <input type="button" value="Поиск изображений"/>
To or From	To or From		
<input type="button" value="Binary Translator"/>	<input type="button" value="PDF Converter"/>		

Introduction. Щорічно проводиться близько 37 тис. операцій в областях абдомінальної та торакальної хірургії, травматології, пульмонології, проктології, урології, мамології, офтальмології, нейрохірургії та ін. з використанням ВЧ електрозварювання. Та на сьогоднішній день не існує повноцінного інструменту для зварювання легень, який зміг би гарантовано впоратись з особливо твердими її частинами, такими як бронхи, замість цього використовують загальні інструменти для зварювання м'яких тканин.

Структура легень неоднорідна, окрім паренхіми, бронхів, альвеол, трахеї, кровоносних судин легень, під час зварювання, легені заповнені повітрям, що привносить складнощі в процес зварювання. Це вимагає від інструменту підвищених параметрів надійності та міцності.

Objective. Модель та дослідження на статичне навантаження інструменту для зварювання легень.

Materials and methods. SOLIDWORKS – це система автоматизованого проектування (САПР), що призначена для 3D-моделювання інструментів, приладів, фізичних процесів, тощо. При роботі з програмою зустрічається багато знайомих користувачам елементів інтерфейсу Windows, і в той же час програма повністю перекладена українською та російською мовами.

За допомогою SOLIDWORKS Simulation можна прогнозувати поведінку виробів в реальній експлуатації. Для цього цифрова САПР-модель аналізується методом

Similarity 9%

Вебінар «Оптимізація процесу розробки виробу за ... - Softico

<https://softico.ua/uk/event/webinar-optimizatsiya-protsesu-rozrobki-virobu-za-dopo-mogoyu-solidworks-simulation/>