

Suhin Yu. V., Logay V. A., Danilov P. V., Lazareva D. V. Експериментальне дослідження міцності фіксації анкерного гвинту в голівці плечової кістки, використовуване для підвішування плеча до акроміону при лікуванні звичного вивиху плеча = Experimental research of the anchor screws fixation strength into the humeral head used for the shoulder hanging to the acromion for the recurrent shoulder dislocation treatment. Journal of Education, Health and Sport. 2015;5(12):289-298. ISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.35434>  
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/2015%3B5%2812%29%3A289-298>  
<http://pbn.nauka.gov.pl/works/681685>  
Formerly Journal of Health Sciences. ISSN 1429-9623 / 2300-665X. Archives 2011–2014  
<http://journal.rsw.edu.pl/index.php/JHS/issue/archive>

Deklaracja.  
Specyfika i zawartość merytoryczna czasopisma nie ulega zmianie.  
Zgodnie z informacją MNiSW z dnia 2 czerwca 2014 r., że w roku 2014 nie będzie przeprowadzana ocena czasopism naukowych; czasopismo o zmienionym tytule otrzymuje tyle samo punktów co na wykazie czasopism naukowych z dnia 31 grudnia 2014 r.  
The journal has had 5 points in Ministry of Science and Higher Education of Poland parametric evaluation. Part B item 1089. (31.12.2014).  
© The Author (s) 2015;  
This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland and Radom University in Radom, Poland  
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.  
This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.  
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.  
Received: 10.11.2015. Revised 25.11.2015. Accepted: 14.12.2015.

УДК: 616.717.41-089.28

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ФІКСАЦІЇ  
АНКЕРНОГО ГВИНТУ В ГОЛІВЦІ ПЛЕЧОВОЇ КІСТКИ,  
ВИКОРИСТОВУВАНЕ ДЛЯ ПІДВІШУВАННЯ ПЛЕЧА ДО АКРОМІОНУ  
ПРИ ЛІКУВАННІ ЗВИЧНОГО ВИВИХУ ПЛЕЧА**

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ANCHOR SCREWS FIXATION  
STRENGTH INTO THE HUMERAL HEAD USED FOR THE SHOULDER  
HANGING TO THE ACROMION FOR THE RECURRENT SHOULDER  
DISLOCATION TREATMENT**

Ю. В. Сухін<sup>[1]</sup>, В. А. Логай<sup>[1]</sup>, П. В. Данілов<sup>[2]</sup>, Д. В. Лазарева<sup>[3]</sup>  
Yu. V. Suhin<sup>[1]</sup>, V. A. Logay<sup>[1]</sup>, P. V. Danilov<sup>[2]</sup>, D. V. Lazareva<sup>[3]</sup>

<sup>[1]</sup>Одеський національний медичний університет, м. Одеса;

<sup>[2]</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет», м. Київ;

<sup>[3]</sup>Одеський національний політехнічний університет, Одеса

<sup>[1]</sup>Odessa National Medical University, Odessa;

<sup>[2]</sup>Ukrainian National Technical University “Kyiv Polytechnic University”, Kyiv;

<sup>[3]</sup>Odessa National Polytechnic University, Odessa

### Summary

The article highlights the results of the experiment, which is a major step in the proposed original method of treatment recurrent shoulder dislocation. The strength of the

anchor screw fixation in the humerus head and an optimal angle of its introduction is the main characteristic of the reliability of this method of treatment recurrent shoulder dislocation. This method of treatment allows to minimize volume of operation, to reduce operational risk and to avoid the recurrence of dislocation in the future completely.

**Key words: recurrent shoulder dislocation, minimally invasive surgery, the strength of fixing the anchor screws, introductions angle of anchor.**

#### **Резюме**

У статті висвітлено результати експерименту, які є основним етапом у запропонованій оригінальній методиці лікування звичного вивиху плеча. Міцність фіксації анкерного гвинта в голівці плечової кістки та оптимальний кут його введення є основними характеристиками надійності розробленого методу лікування вказаної патології. Розроблений метод лікування дозволяє мінімізувати обсяг оперативного втручання, зменшити операційний ризик і повністю уникнути рецидивів вивиху у подальшому.

**Ключові слова: звичний вивих плеча, малоінвазивне оперативне лікування, міцність фіксації анкерного гвинта, кут введення анкеру.**

#### **Резюме**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ФИКСАЦИИ АНКЕРНОГО ВИНТА В ГОЛОВКЕ ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ ПОДВЕШИВАНИЯ ПЛЕЧА К АКРОМИОНУ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПРИВЫЧНОГО ВЫВИХА ПЛЕЧА. В статье приведены результаты эксперимента, которые являются основным этапом в предложенной оригинальной методике лечения привычного вывиха плеча. Прочность фиксации анкерного винта в головке плечевой кости и оптимальный угол его введения являются основными характеристиками надёжности разработанного метода лечения указанной патологии. Разработанный метод лечения позволяет минимизировать объем оперативного вмешательства, снизить операционный риск и полностью избежать рецидивов вывиха в дальнейшем.

**Ключевые слова: привычный вывих плеча, малоинвазивное оперативное лечение, прочность фиксации анкерного винта, угол введения анкера.**

На сьогодні відомо багато різних методів дослідження напружено-деформованого стану тіл і отримано багато важливих результатів в даній області. Ряд методів дослідження тривимірних задач теорії пружності ґрунтується на уявленнях рішень однорідних рівнянь Ламі за допомогою гармонійних і бігармонічних функцій.

За допомогою функцій комплексного змінного та інтегралів типу Коші розроблено ефективний метод вирішення плоских граничних задач теорії пружності для однозв'язних і багатозв'язних областей, що став згодом класичним.

Ще одним методом дослідження тривимірних задач теорії пружності є метод інтегральних рівнянь, за допомогою якого доведені теореми існування та єдиності розв'язку крайових задач статки і сталих коливань пружних тіл. Цей метод часто служить основою для розробки алгоритмів чисельного рішення задач теорії пружності. Знаходить застосування в задачах просторової теорії пружності і метод інтегральних перетворень.

При дослідженнях тривимірних задач теорії пружності для неканонічних областей застосовується і метод збурень форми границі.

Ідея відомості рішення граничної задачі в тривимірній постановці до послідовного розв'язування двовимірних задач привела до створення і використання теорії розкладань по системі функцій. При цьому рішення просторової задачі представляється у вигляді ряду або асимптотичного розкладу за системою базисних функцій щодо координати, уздовж якої протяжність тіла значно менше його геометричних розмірів в інших координатних напрямках. Однак при дослідженнях напружено-деформованого стану тіл складної конфігурації застосування аналітичних методів пов'язане з досить значними математичними труднощами. Тому, враховуючи розширення можливостей комп'ютерної техніки, останнім часом стали широко використовувати різні чисельні методи (кінцевих елементів, кінцевих різниць, варіаційно-різницевої та ін.).

Більшість сучасних комп'ютерних програм ґрунтується на методі кінцевих елементів [1]. Серед цих програм виділяється своїми можливостями пакет ANSYS, який і був обраний для вирішення поставленого завдання.

**Мета роботи** - розробка нового методу лікування звичного вивиху плеча, заснованого на закритому підвішуванні плечової кістки до акроміального відростка лопатки за допомогою анкерного фіксатора [2].

**Матеріали та методи дослідження.** З погляду механіки, розглянута задача є завданням тривимірної теорії пружності. Математично вона описується наступною групою співвідношень:

1. Статичні рівняння. Диференціальні рівняння рівноваги (рівняння Нав'є). Умови на поверхні.

2. Геометричні рівняння. Зв'язок між функціями переміщень і деформацій - формули Коші. Рівняння нерозривності деформацій (рівняння Сен-Венана).

3. Фізичні рівняння. Узагальнений закон Гука в прямій формі. Узагальнений закон Гука в зворотній формі.

Основні рівняння містять 15 невідомих функцій: - Три компоненти вектора переміщення, шість компонент тензора напружень і шість компонент тензора деформацій. Всі шукані невідомі є функціями координат  $x, y, z$  точки тіла.

Таким чином, в кожній точці навантаженого тіла можна виділити 15 параметрів напружено-деформованого стану. Для відшукування цих функцій маємо 15 рівнянь: - Три диференціальних рівняння рівноваги; шостій формул Коші; шостій формул закону Гука в прямій або зворотній формі. Отже, з точки зору математики, завдання може бути вирішена. Це рішення зводиться до інтегрування перерахованих 15 рівнянь при задоволенні умов на поверхні і рівнянь нерозривності деформацій.

### **Результати дослідження і їх обговорення**

*1. Побудова звичайно-елементної моделі фрагменти кісток зі штучним включенням*

Великий розкид значень механічних характеристик матеріалу кістки, закладений нами в побудовану математичну модель, обумовлений тим, що для живих систем характерна виключно висока мінливість властивостей, обумовлена індивідуальними, віковими, функціональними відмінностями досліджуваних об'єктів і величезною кількістю зовнішніх факторів [3]. У вироблених розрахунках ми дотримувалися величин фізичних характеристик кісткової тканини представлених в табл. 1.

## Фізичні характеристики кісткової тканини

	Модуль пружності, Н/м <sup>2</sup>	Міцність при розтягуванні, Н/м <sup>2</sup>	Міцність при стисненні, Н/м <sup>2</sup>
Компактна речовина	17,2*10 <sup>9</sup>	98,1-117,72*10 <sup>6</sup>	117,72-156,96*10 <sup>6</sup>
Губчаста речовина	0,09*10 <sup>9</sup>	14,715*10 <sup>6</sup>	6,867-14,715*10 <sup>6</sup>

Засоби препроцесорну твердотільного моделювання програми ANSYS дозволяють мати справу безпосередньо з геометричною моделлю, не звертаючись до специфічних об'єктам (вузли та елементи) кінцево-елементної моделі [4].

При побудові фрагмента плечової кістки в програмі ANSYS використовувався «висхідний» метод твердотільного моделювання. При цьому створення моделі починається з об'єктів найнижчого порядку. Спочатку створюються ключові точки, потім пов'язані з ними лінії, поверхні і обсяги.

Геометрію фрагмента кістки можна описати неоднорідними раціональними B-сплайнів. Подання об'єктів моделі на основі сплайнів робить можливим застосування методу побудови поверхні, відомого як «обтягування каркаса». За допомогою цього методу був заданий деякий набір поперечних перерізів, на основі яких створена відповідна зазначених перетинів поверхню.

Одним з найважливіших етапів кінцево-елементного аналізу є побудова сітки кінцевих елементів. Точність розрахунків за допомогою МСЕ залежить від правильного вибору типів і розмірів кінцевих елементів [5]. В існуючих програмних комплексах, як правило, передбачаються два основні методи: побудова довільної сітки та впорядкованою. Так як тривимірна геометрія створеної моделі переважно складається з криволінійних поверхонь, побудова впорядкованої сітки не представляється можливим. Тому при розбитті на кінцеві елементи використані автоматичні програмні засоби для побудови довільної сітки.

Побудована модель апроксимована об'ємним шестигранним кінцевим елементом SOLID 45 який має три ступені свободи в кожному вузлі - переміщення в напрямках осей X, Y, Z вузловий системи координат. Елемент може приймати вироджену форму, що особливо зручно при розгляді конструкцій складної конфігурації.

Звичайно-елементна модель фрагмента кістки зі штучним включенням переважно складається з елементів мають пірамідальну форму, включає в себе обсяги анкерного гвинта, компактного і губчатого речовин (рис. 1).

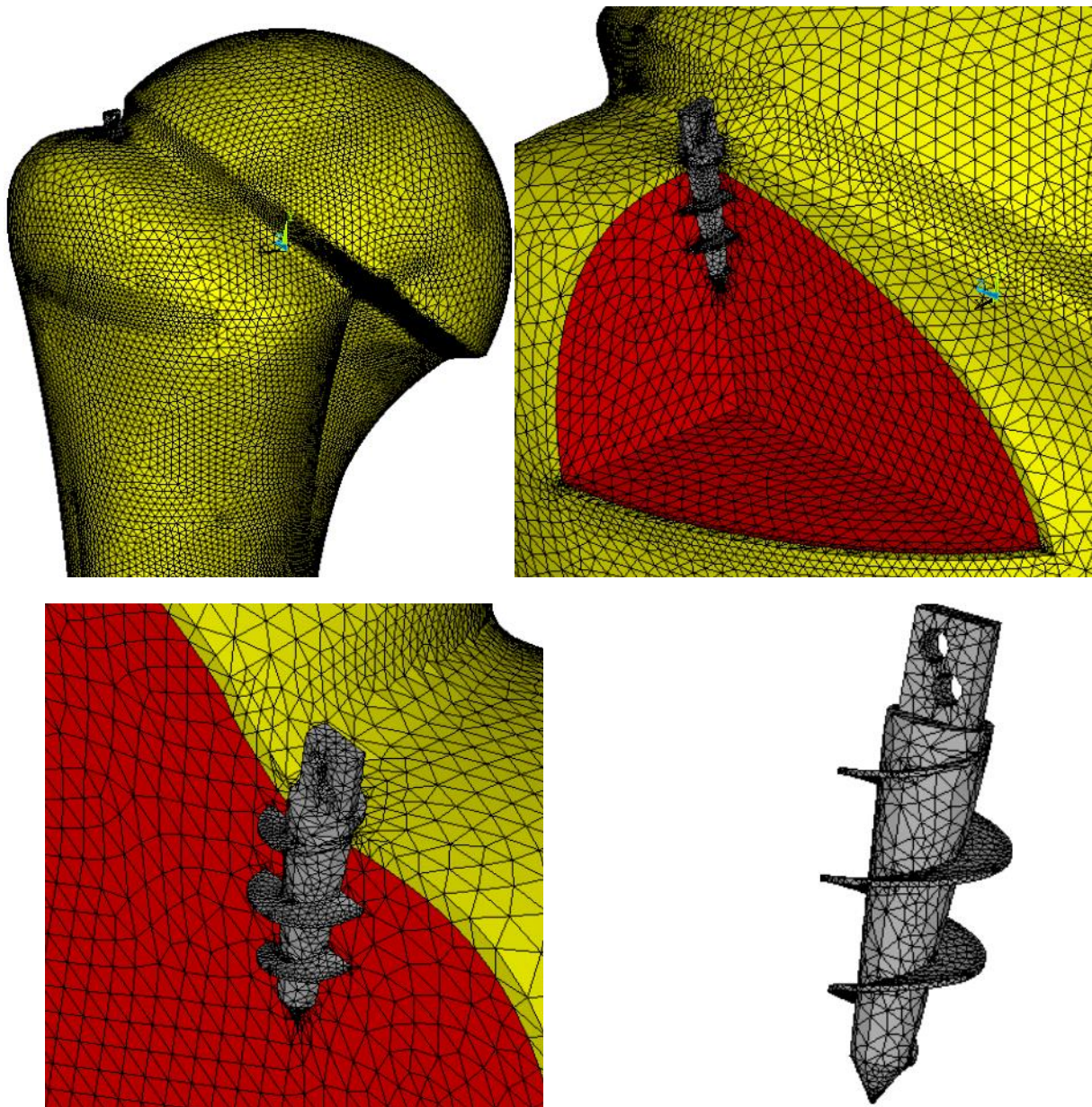


Рис. 1. Звичайно-елементна модель фрагмента кістки зі штучним включенням

Анкерний гвинт діаметром 5 мм має конусоподібну форму: довжина гвинта - 13 мм, крок різьблення - 2 мм, матеріал - титан. Товщина компактного речовини прийнята рівною 0,6 мм.

У результаті апроксимації згенеровано 417865 елементів і 79034 вузлів.

## 2. Аналіз напружено-деформованого стану при зміні кута нахилу гвинта

Цей комплекс досліджень присвячений вивченню НДС системи при зміні кута нахилу гвинта. Зовнішнє навантаження, при цьому, постійне і прикладене перпендикулярно площині введення гвинта. Розглянуто, два варіанти: відведення руки і згинання. Розрахункові схеми представлені на рис. 2.

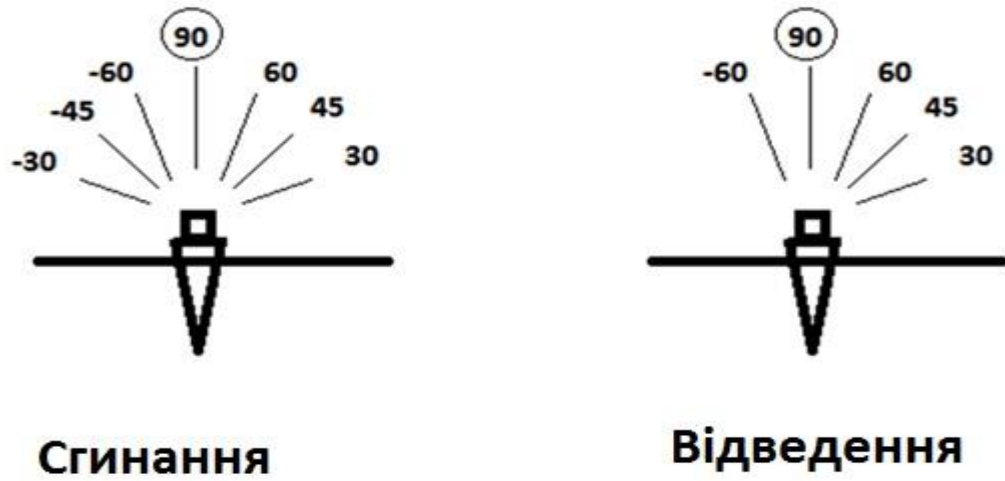


Рис. 2. Розрахункові схеми

На рис. 3 представлена кінцево-елементна модель фрагмента кістки при відведенні руки з кутом нахилу гвинта -  $60^\circ$ .

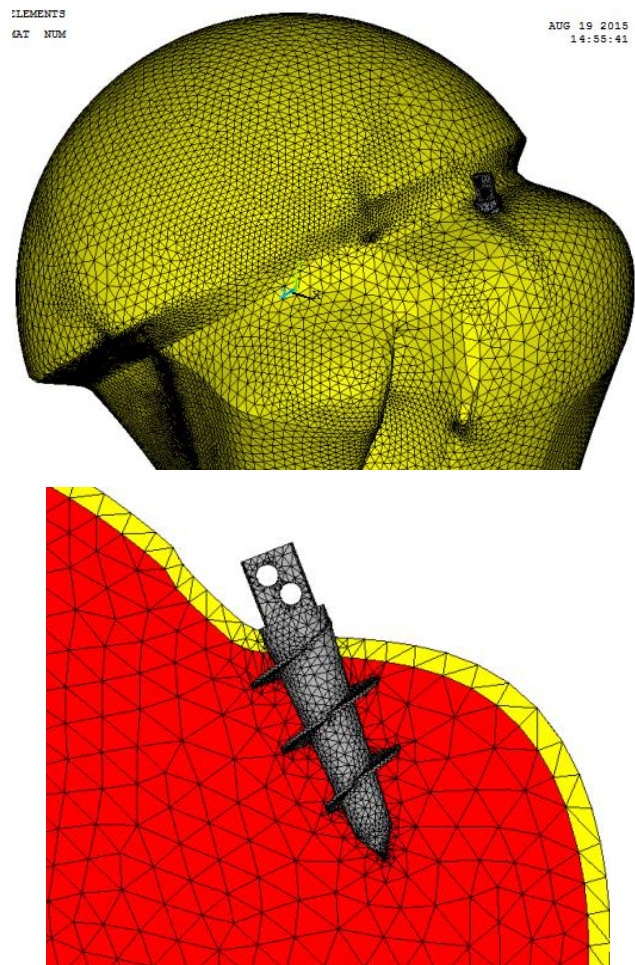


Рис. 3. Звичайно-елементна модель фрагмента кістки з кутом нахилу гвинта у  $60^\circ$

У результаті аналізу отримані епюри еквівалентних напружень в компактній (рис. 4) і губчатій речовині (рис. 5).

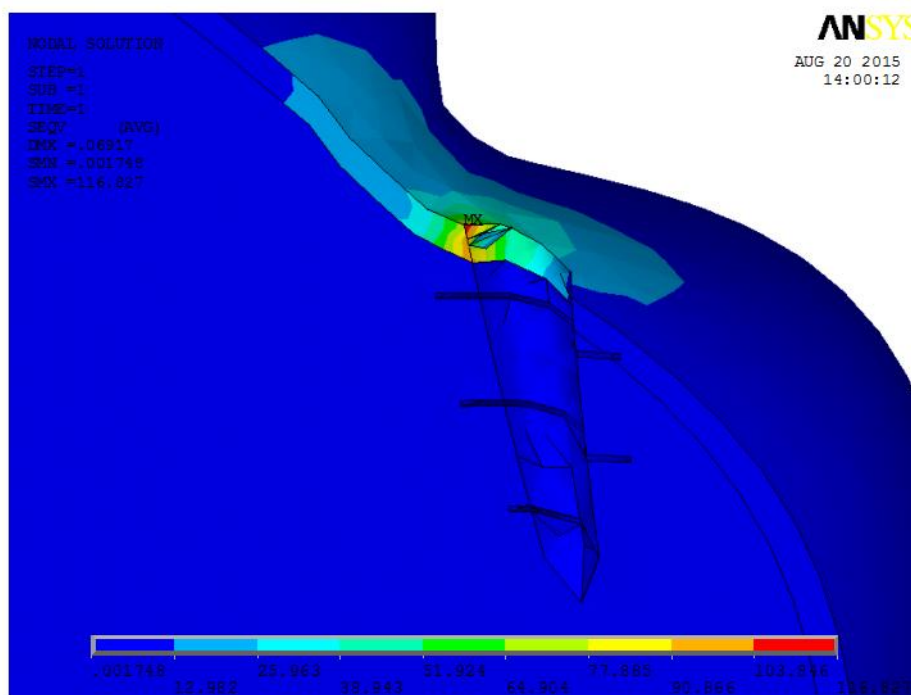


Рис. 4. Еквівалентна напруга в компактному шарі кістки

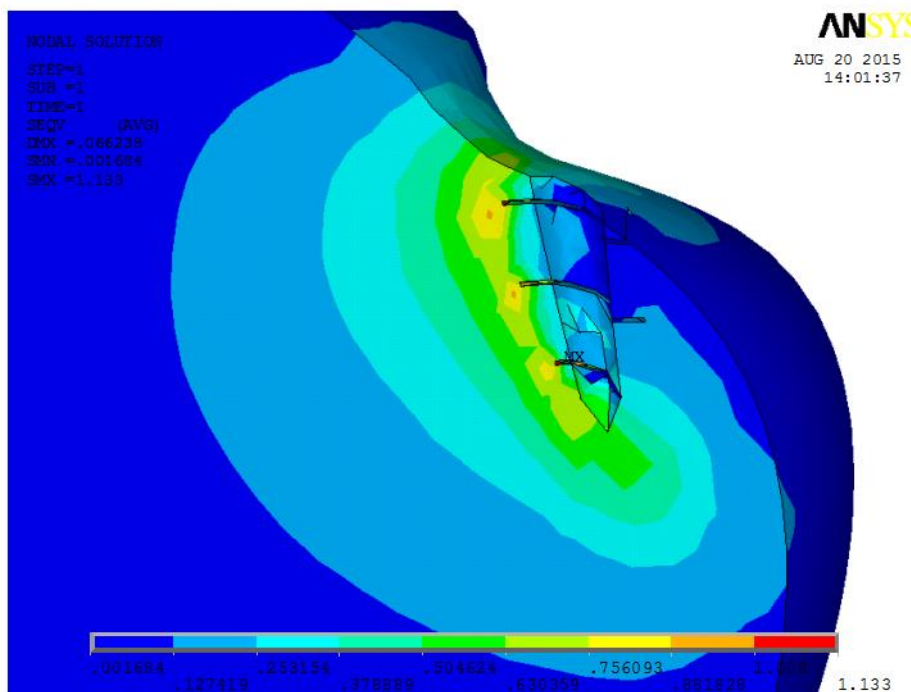


Рис. 5. Еквівалентна напруга в губчастій речовині кістки



При цьому спостерігається більш виражена картина перерозподілу напруг. Концентрація напружень не є локальною, напруги рівномірно зменшуються при віддаленні від зони максимуму.

Як було зазначено раніше, основне навантаження припадає на компактний шар кістки. Однак слід зазначити, що при нахилі гвинта (на відміну від положення 90°) значне навантаження сприймає і губчаста кістка, про що свідчить епюра еквівалентних напружень (рис. 5). В результаті цього збільшилося максимальне навантаження, яке становить 42,5 Н.

Отримані результати аналізу зведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Максимальні значення навантаження і відповідні напруги при різних варіантах нахилу гвинта

	Кут нахилу гвинта, град.	Максимальне навантаження, Н	Напруження, МПа	
			Компактна речовина	Губчаста речовина
Відведення	-60	42,5	116,83	1,13
	90	20	115,52	0,46
	60	44	117,18	0,64
	45	61	117,48	1,44
	30	21	117,78	0,93
Згинання	-45	53,5	117,49	1,18
	-60	39	117,27	0,97
	90	25	117,26	0,6
	60	33,7	117,80	1,92
	45	49	117,19	0,96

**Висновки.** Модель фрагмента кістки зі штучним включенням є складною в геометричному і фізичному відношенні системою, розрахунок якої можливий лише чисельним методом. При цьому метод кінцевих елементів кращий, як найбільш зручний чисельний метод розв'язання задач, описують стан фізичних систем складних структур. Характер розподілу напружень свідчить про те, що максимальні напруги виникають у місці прикладання навантаження і не перевищують межу міцності.

Також напруженою є область на стику імплантату, компактного і губчатого речовин, де виникає концентрація напружень на поверхні з'єднання, викликана різкою зміною жорсткості сполучених матеріалів. За результатами чисельного аналізу моделей з різними варіантами нахилу гвинта оптимальними є кути нахилу  $-60^\circ$ ,  $60^\circ$ , і  $45^\circ$  при відведенні. При вигині, враховуючи геометрію кістки в зоні імплантації, виконати введення гвинта під кутом  $-45^\circ$  і  $45^\circ$  не завжди представляється можливим. Найменшу навантаження витримують моделі з нахилом гвинта  $30^\circ$  при відведенні і  $90^\circ$  в обох випадках.

Отже, нами розроблений оригінальний метод лікування звичного вивиху плеча, в разі чого досягається принципова можливість мінімізувати обсяг оперативного втручання, зменшити операційний ризик та повністю уникнути рецидивів вивиху.

#### **Перелік літератури**

1. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы/ Р. Галлагер. - М. : Мир, 1984. - 428 с.
2. Сухин Ю. В. Метод лечения повторяющегося вывиха плеча у людей с высоким операционным риском / Ю. В. Сухин, В. А. Логай, В. П. Сухин // Літопис травматології та ортопедії. - 2013. - № 3-4. - С. 41-42.
3. Сухарев М. Ф. Изучение биомеханического взаимодействия имплантатов и кости методом математического моделирования / М. Ф. Сухарев, А. В. Бобров // Клиническая имплантология и стоматология. – 1997. - №2. – С. 34 – 37.
4. Дащенко А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А. Ф. Дащенко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса : Астропринт, 2007. - 484 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. - М. : Мир, 1979. - 392 с.

#### **References**

1. Gallaher R. The finite element method. Fundamentals / R. Gallaher. - М. : Mir, 1984. - 428 p (In Russian).
2. Suhin Yu. V. Method of recurrent dislocation of the shoulder treatment in patients with high operational risk / Yu. V. Suhin, V. A. Logay, V. P. Suhin // Annals of Traumatology and Orthopedics. - 2013. - N 3-4. - P. 41-42 (In Russian).
3. Suharev M. F. The study of biomechanical implants and bone interaction by mathematical modeling / M. F. Suharev, A. V. Bobrov // Clin. Implantology and Stomatology. – 1997. - N2. – P. 34 – 37 (In Russian).
4. Dashchenko A.F. ANSYS in problems of engineering mechanics / A. F. Dashchenko, D. V. Lazareva, N. G. Suryaninov. – Odessa : Astroprint, 2007. - 484 p (In Russian).
5. Segerlind L. Application of Finite Element Method / L. Segerlind. - М. : Mir, 1979. - 392 p (In Russian).