

Компьютерное моделирование и численный анализ напряженного состояния зуба после реставрации кариозной полости

Б. В. Ништа¹⁾, Ю. В. Лахтин²⁾, Ю. В. Смеянов³⁾

^{1), 2)} Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007

Article info:

Paper received:

14 May 2015

The final version of the paper received:

24 May 2015

Paper accepted online:

05 November 2015

Correspondent Author's Address:

¹⁾ quasar_nbv@mail.ru

²⁾ sumystom@yandex.ru

³⁾ jericho_net@mail.ru

Наиболее ранней и распространенной формой поражения зубочелюстной системы являются дефекты зубов различного происхождения. Разрушение части даже одного зуба или ошибки при ее восстановлении могут стать отправной точкой для целого ряда морфологических и функциональных изменений челюстно-лицевого аппарата человека [1].

Своевременное восстановление утраченных формы и функций зуба с помощью разнообразных методов позволяет предотвратить все эти негативные последствия. Важной задачей при лечении дефектов твердых тканей является восстановление биомеханической целостности зуба. Оптимальное сочетание трех конструктивных элементов: твердых тканей зуба, собственно, восстановительной конструкции и прочного соединения между ними является залогом надежного и долговечного функционирования восстановленного зуба.

Целью настоящей работы являются разработка и апробация трехмерной твердотельной математической модели, отображающей строение естественного зуба. Для изучения напряженного состояния геометрически сложной многослойной биомеханической системы, которая состоит из слоя эмали, дентина и пломбы, в данной работе были использованы трехмерное твердотельное моделирование в SolidWorks и математический анализ методом конечных элементов ANSYS Workbench. При моделировании зуб рассматривается как упругое деформируемое тело при статическом нагружении равномерно распределенным усилием.

Проведенные расчеты показали, что форма пломбы оказывает существенное влияние на восприятие зубом механического воздействия на жевательную поверхность после реставрации кариозной полости.

Ключевые слова: напряженное состояние, зуб с пломбой, трехмерная модель, дентин, эмаль, метод конечных элементов.

1. ВВЕДЕНИЕ

Возникновение собственных напряжений в зубе после реставрации кариозных полостей приводит к образованию трещин дентина и эмали, нарушению краевого прилегания пломбы, рассасыванию и выпадению пломбировочного материала [2]. Для обеспечения надежного и долговечного соединения пломбировочного материала и зуба необходимо изучить соотношение их механических свойств. Теоретические исследования надежности пломбирования целесообразно проводить на математической модели поведения зуба с пломбой при воздействии жевательного усилия [3].

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования являются разработка трехмерной математической модели системы «зуб – пломба» и проведение анализа ее напряженного состояния с учетом физико-механических свойств ее структурных компонентов и функциональной нагрузки.

В данной работе для теоретического изучения напряженного состояния геометрически сложной многослойной биомеханической системы, которая состоит из слоя эмали, дентина и пломбы, были использованы трехмерное твердотельное моделирование и математический анализ методом конечных элементов [4].

3. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследование состояло из нескольких этапов.

Этап 1. Построение объемной геометрической модели

Объектом исследования служили трехмерные твердотельные математические модели, отображающие строение естественного интактного зуба, а также зубов, восстановленных пломбами с различной формой.



Рис. 1. Исходный объект для построения модели

На основании рентгена зуба с помощью компьютерной программы SolidWorks были построены твердотельные объемные модели отдельных компонентов системы «эмаль – дентин – пломба». Эти элементы были пространственно объединены в три окончательные многослойные геометрические модели (сборки).

Контрольной служила объемная модель естественного зуба.

Три другие геометрические модели воспроизвели зуб после реставрации кариозной полости.

Этап 2. Создание конечно-элементных моделей

Основой для расчета напряженно-деформированного состояния конструкции является ее конечно-элементная модель. Построенные ранее

многослойные геометрические модели были экспортированы в программный комплекс ANSYS Workbench, в котором были сформированы четыре конечно-элементные модели (рис. 3), качественные и количественные характеристики которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Характеристика конечно-элементных моделей

Название конечно-элементной модели	Структурные (геометрические) компоненты	Количество конечных элементов	Количество узлов	Материалы		
				дентин	эмаль	цемент
Зуб без пломбы	Основание	818768	590620	•		
	Эмаль	569022	400124		•	
Зуб с пломбой № 1	Основание	796410	572884	•		
	Эмаль	543366	381129		•	
	Пломба	54142	12582			•
Зуб с пломбой № 2	Основание	803518	578694	•		
	Эмаль	545946	382875		•	
	Пломба	30719	7055			•
Зуб с пломбой № 3	Основание	804895	579154	•		
	Эмаль	560252	393450		•	
	Пломба	37335	25480			•

Необходимые для расчета напряженного состояния физико-механические свойства материалов взяты из литературы [5] и представлены в табл. 2.

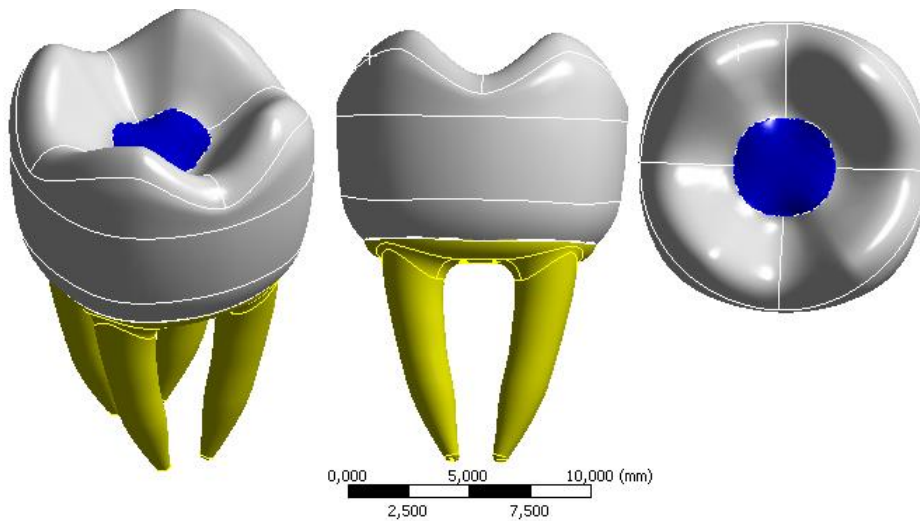


Рис. 2. Объемная геометрическая модель зуба с пломбой

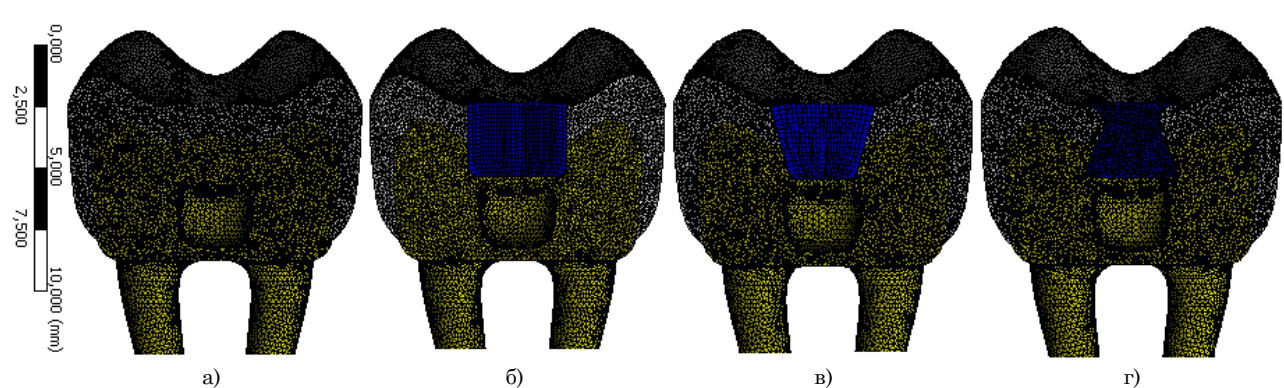


Рис. 3. Конечно-элементные модели: а) – зуб без пломбы; б) – зуб с пломбой № 1; в) – зуб с пломбой № 2; г) – зуб с пломбой № 3

Таблица 2 – Физико-механические свойства материалов

Свойство материала	Дентин	Эмаль	Цемент
Модуль Юнга, ГПа	14,7	94	13,7
Коэффициент Пуассона	0,31	0,33	0,35

Этап 3. Описание внешних воздействий и граничных условий

Для упрощения расчетов были заданы следующие граничные условия: корневая часть изучаемой модели зуба была жестко закреплена; все тела имели однородную структуру, т. е. были изотропны.

Изучение напряжений в материалах проводилось при вертикальной однонаправленной нагрузке 500 Н.

Для характеристики напряженного состояния и одновременного учета всех компонентов полей напряжений (нормальных и касательных) использовали эквивалентные напряжения по Мизесу (von-Mises).

Этап 4. Анализ полученных результатов

При воздействии вертикальной нагрузки на окклюзионную поверхность модели зуба отмечается появление двух областей повышенных значений напряжений (рис. 5). Первая формируется преимущественно в эмали на окклюзионной поверхности в местах приложения нагрузки. Вторая характеризу-

ется увеличением напряжений в эмали на стыке с дентином и пломбой.

Таким образом, картины напряжений для моделей зубов с различными пломбами отличаются достаточно сильно. Так для зуба без пломбы максимальные напряжения составили 74 МПа, для зуба с пломбой № 1 – 119 МПа (на 61 % больше, чем для зуба без пломбы), для зуба с пломбой № 2 – 89 МПа (на 20 % больше, чем для зуба без пломбы), для зуба с пломбой № 3 – 105 МПа (на 42 % больше, чем для зуба без пломбы). Это свидетельствует о существенном влиянии формы пломбы на восприятие зубом механического воздействия на жевательную поверхность после реставрации кариозной полости.

ВЫВОДЫ

1. Взаимное сочетание физико-механических свойств пломбы, эмали и дентина позволяет зубу как единой биомеханической системе воспринимать механическую нагрузку.

2. Форма пломбы оказывает существенное влияние на восприятие зубом механического воздействия на жевательную поверхность после реставрации кариозной полости.

3. Необходимы дальнейшие исследования для количественной оценки способности восстановленного зуба восприятия различных видов нагружения при различных формах пломб.

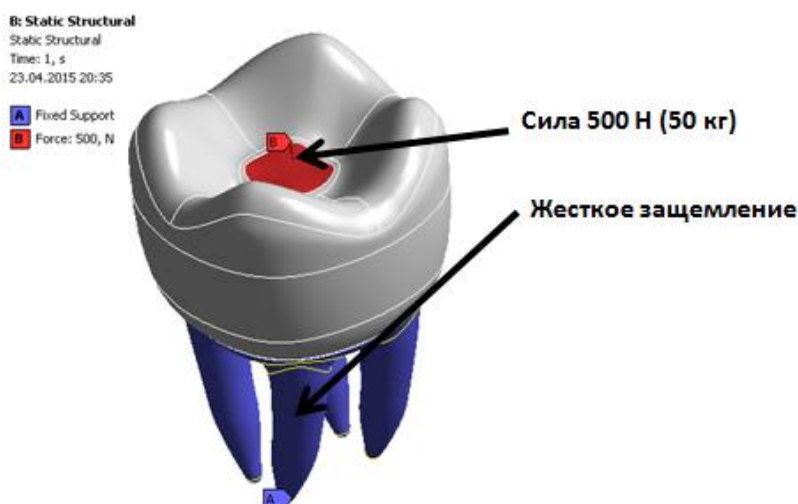


Рис. 4. Внешние воздействия и граничные условия

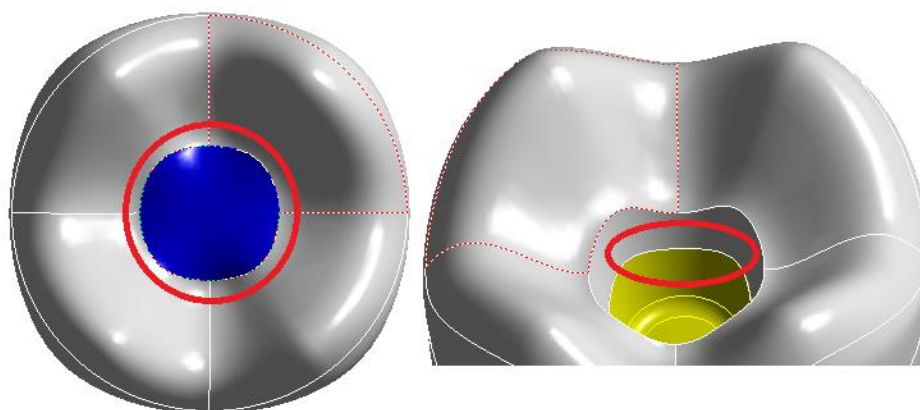


Рис. 5. Области повышенных значений напряжений

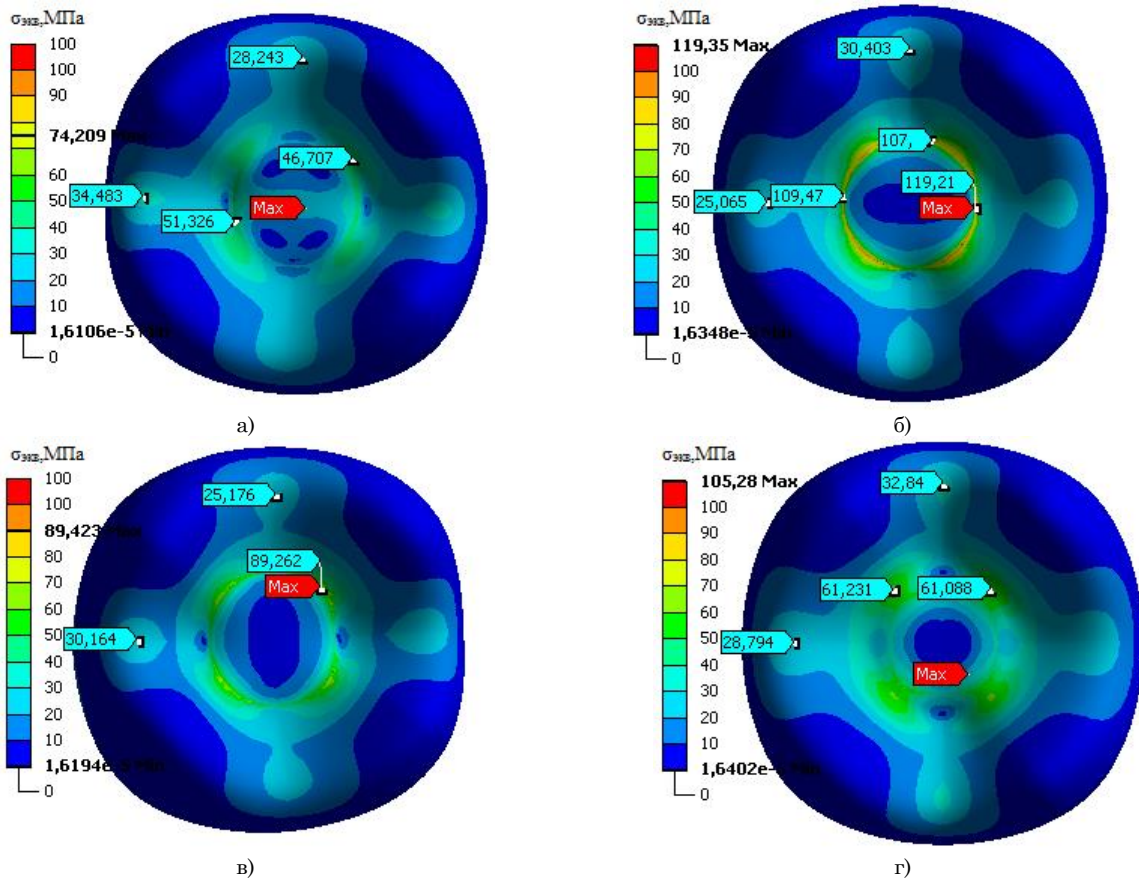


Рис. 6. Напряженное состояние моделей зубов в первой области повышенных напряжений: а) зуб без пломбы; б) зуб с пломбой № 1; в) зуб с пломбой № 2; г) зуб с пломбой № 3

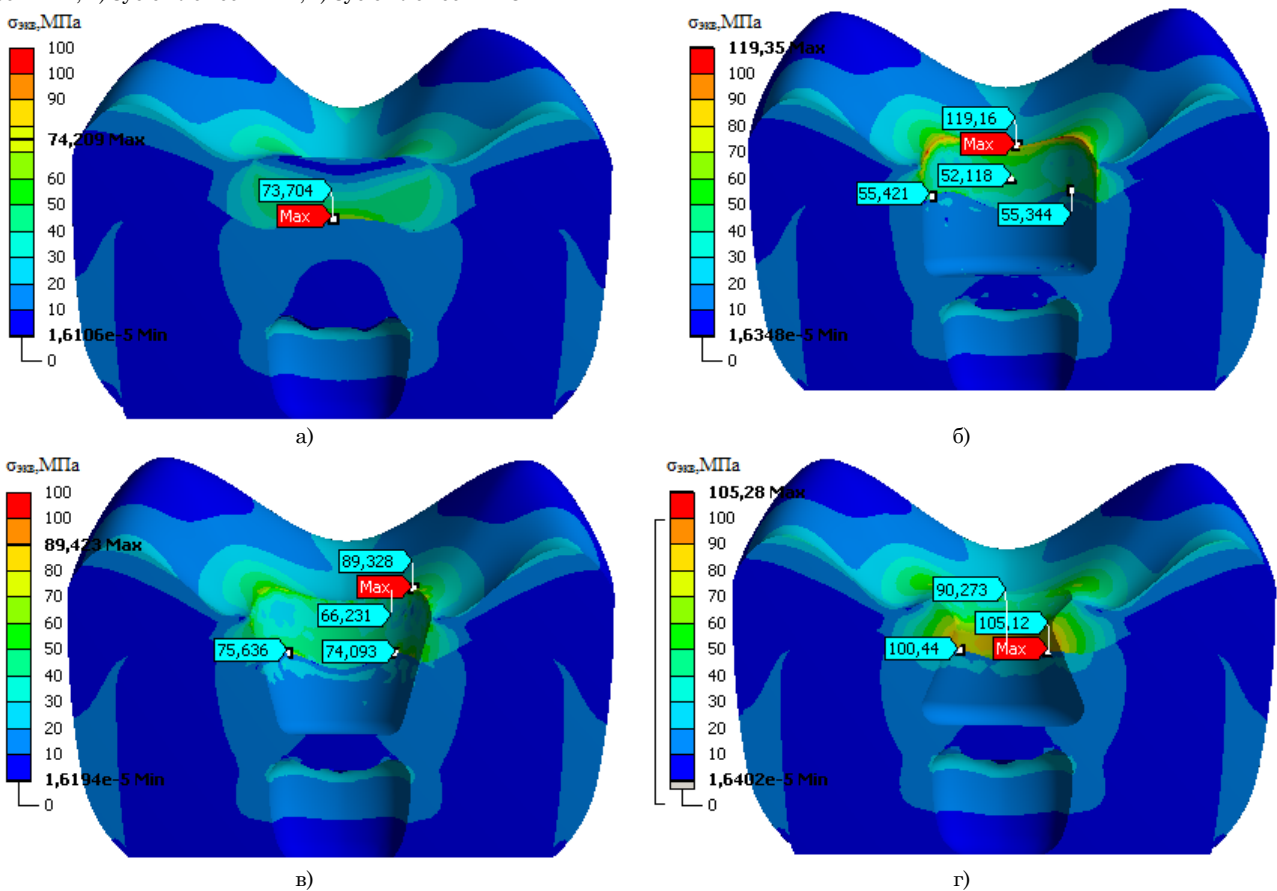


Рис. 7. Напряженное состояние моделей зубов во второй области повышенных напряжений: а) зуб без пломбы; б) зуб с пломбой № 1; в) зуб с пломбой № 2; г) зуб с пломбой № 3

Computer modeling and numerical analysis of the stress state after the restoration of a tooth cavity

B. V. Nishta¹⁾, Yu. V. Lakhtin²⁾, Yu. V. Smeyanov³⁾

1), 2), 3) Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., Sumy, Ukraine, 40007

The earliest and the most common form of the dental system destruction are the defects in the teeth of different origin. The partial destruction even of a single tooth or mistakes in its reconstruction can be the starting point for a number of morphological and functional changes of the human maxillofacial unit.

Timely restoration of a missing tooth form and functions with a variety of techniques allows preventing all these negative effects. An important issue in the treatment of hard tissue defects is to restore the bio-mechanical integrity of the tooth. The optimal combination of three structural elements - hard tissues of the tooth, properly restoring design and firm connection between them is the key to a reliable and durable function of the restored tooth.

The aim of this paper is the development and testing of a 3D finite element model that displays the structure of a natural tooth. The object of the research is geometrically complex multilayer bio-mechanical system that consists of enamel, dentin and seals. In this study the 3D solid modeling in SolidWorks and finite element structural analysis in ANSYS Workbench were used. The tooth was assumed elastically deformable body under static uniform force loading.

The calculations showed that the shape of the seal has a significant impact on the perception of mechanical loading on the tooth chewing surface after the restoration cavity.

Keywords: stress state, tooth stopper, three-dimensional model, dentin, enamel, finite element method.

Комп'ютерне моделювання та чисельний аналіз напруженого стану зуба після реставрації каріозної порожнини

Б. В. Нішта¹⁾, Ю. В. Лахтін²⁾, Ю. В. Сміянов³⁾

1), 2), 3) Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, Суми, Україна, 40007

Найбільш ранньою і поширеною формою ураження зубощелепної системи є дефекти зубів різного походження. Руйнування частини навіть одного зуба або помилки при її відновленні можуть стати відправною точкою для цілого ряду морфологічних і функціональних змін щелепно-лицьового апарату людини [1].

Своєчасне відновлення втрачених форми та функцій зуба за допомогою різноманітних методів дозволяє запобігти всі ці негативні наслідки. Важливим завданням при лікуванні дефектів твердих тканин є відновлення біомеханічної цілісності зуби. Оптимальне поєднання трьох конструктивних елементів: твердих тканин зуба, власне відновної конструкції й міцного з'єднання між ними є запорукою надійного та довговічного функціонування відновленого зуба.

Метою цієї роботи є розробка та апробація тривимірної твердотільної математичної моделі, що відображає будову природного зуба. Для вивчення напруженого стану геометрично складної багатошарової біомеханічної системи, яка складається з шару емалі, дентину й пломби, в цій роботі було використано тривимірне твердотільне моделювання в SolidWorks та математичний аналіз методом кінцевих елементів ANSYS Workbench. При моделюванні зуб розглядається як пружне тіло, що деформується за статичним навантаженням рівномірно розподілених зусиль.

Проведені розрахунки показали, що форма пломби робить істотний вплив на сприйняття зубом механічного впливу на жувальну поверхню після реставрації каріозної порожнини.

Ключові слова: напружений стан, зуб з пломбою, тривимірна модель, дентин, емаль, метод кінцевих елементів.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Полховский Д. М. Трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния зубов, восстановленных керамическими коронками / Д. М. Полховский // Медицинский журнал. – 2011. – № 1. – С. 83–87.
2. Наймушин Ю. Н. Устройство для прочностных испытаний пломбирочных материалов и пломб дефектных зубов / Ю. Н. Наймушин [и др.] // Патент РФ на полезную модель №114843; опубл. 20.04.2012, бюл. №11.
3. Ефремов М. С. Моделирование напряженного состояния зуба после реставрации кариозных полостей / [М. С. Ефремов и др.] // Ползуновский альманах. – Барнаул: АлтГТУ, 2008. – № 2. – С. 162–164.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 539 с.
5. Ремизов С. М. Микромеханические характеристики реставрационных стоматологических материалов, эмали и дентина зубов человека / С. М. Ремизов // Стоматология. – 2001. – № 4. – С. 28–32.

REFERENCES

1. Polhovskij D. M. (2011). Medicinskij zhurnal. Vol. 1, P. 83–87. [in Russian].
2. Najmushin Ju. N. (2012). Patent RF na poleznuju model №114843. [in Russian].
3. Efremov M. S. (2008). Polzunovskij almanah. Vol. 2, P. 162–164. [in Russian].
4. Zenkevich O. (1975). Metod konechnyh jelementov v tehnikе. M. Mir, 539 p. [in Russian].
5. Remizov S. M. (2001). Stomatologija. Vol. 4, P. 28–32. [in Russian].