

УДК 378.147 (Методы обучения. Формы преподавания)

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА В ОБРАЗОВАНИИ СТОМАТОЛОГОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2025 М.Ю. Александрова

Александрова Маргарита Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры механики

E-mail: kris-maks@mail.ru

Самарский государственный технический университет
Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 03.12.2025

В современных условиях подготовка высококвалифицированных специалистов в области стоматологии требует интеграции цифровых технологий в образовательный процесс. Одним из наиболее перспективных инструментов становится конечно-элементный анализ (КЭА), позволяющий моделировать биомеханические процессы в зубочелюстной системе с высокой точностью. В статье рассматриваются современные подходы к внедрению КЭА в учебную и научно-исследовательскую деятельность студентов-стоматологов. Особое внимание уделено формированию у обучающихся навыков научного и аналитического мышления: благодаря визуализации напряжённо-деформированных состояний студенты получают возможность глубже понимать взаимосвязь анатомических, физиологических и инженерных аспектов клинической практики. Показано, что освоение КЭА способствует развитию компетенций в области цифровой стоматологии, включая работу с программными пакетами (ANSYS, SolidWorks и др.), интерпретацию численных результатов и построение обоснованных клинических гипотез. Кроме того, КЭА выступает как междисциплинарный мост между медициной, биомеханикой, материаловедением и информационными технологиями. В перспективе метод может быть интегрирован с технологиями виртуальной и дополненной реальности, машинного обучения и облачных вычислений, что открывает новые горизонты для инновационного обучения будущих стоматологов.

Ключевые слова: конечно-элементный анализ, современные образовательные методики, цифровая стоматология
DOI: 10.37313/2413-9645-2025-27-105-13-17
EDN: NUKISB

Автор выражает благодарность Александровой Кристине Алексеевне, студенту 3-го курса стоматологического факультета Самарского государственного медицинского университета, за содействие в данном исследовании

Введение. В современном мире к молодому стоматологу предъявляются высокие требования знаний не только медико-биологической направленности, но владения цифровыми технологиями. Для эффективного освоения основных дисциплин и общего кругозора будущих стоматологов необходимо как теоретическое понимание анатомии, физиологии и строения челюстно-лицевой системы, так и практическое владение инструментами анализа биомеханических процессов. Именно здесь на помощь приходит КЭА – численный метод решения задач механики сплошных сред, позволяющий моделировать деформированное состояние различных объектов; компьютерное моделирование, в процессе которого сложный объект разбивается на множество малых элементов и для каждого элемента определяются возникающие в нем напряжения, деформации и пр. в соответствии с заданными нагрузками и ограничениями [Бруйка В.А., с. 7].

История вопроса. Этот подход широко используется в машиностроении, авиации, строительстве и всё чаще применяется в медицине и стоматологии.

В стоматологии МКЭ находит применение по следующим направлениям: исследование распределения напряжений в зубах, периодонте и костной ткани при жевательной трети; моделирование поведения имплантатов и протезов в условиях функциональной нагрузки; анализ эффективности ортодонтических аппаратов и сил, воздействующих на зубы и челюсти; прогнозирование устойчивости реставраций и эндодонтических конструкций [Дьяченко Д.Ю., Семенюк В.М.; Shruti S.]. В этих исследованиях врачи лучше учитывают последствия медицинских решений, представляя соответствующие рекомендации и предлагая оптимальные варианты лечения.

Методы исследования. В подготовке научной работы использован комплекс методов: теоретический анализ научной и учебно-методической литературы по проблеме применения цифровых технологий в стоматологическом образовании; моделирование – построение конечно-элементных моделей стоматологических конструкций (имплантатов, коронок) в программной среде ANSYS; педагогический эксперимент (формирующий и констатирующий этапы), проведенный на базе Самарского государственного медицинского университета (СамГМУ) совместно со студентами стоматологического факультета: в ходе эксперимента внедрялся модуль «Основы конечно-элементного анализа в стоматологии» в рамках дисциплины по биомеханике и цифровым технологиям. Такой методологический подход позволил комплексно оценить дидактический потенциал КЭА в подготовке будущих стоматологов.

Результаты исследования. Включение КЭА в учебный процесс открывает новые горизонты обучения молодых стоматологов, например для углубленного понимания теоретических знаний: МКЭ позволяет визуализировать абстрактные понятия биомеханики, такие как напряжение, деформация, упругость, силы реакции. МКА способствует развитию аналитического мышления, способности интерпретировать результаты моделирования, приобретению навыков работы с программным обеспечением (ANSYS, ABAQUS, SolidWorks и др.). Владение студентом МКЭ становится мощным подспорьем в подготовке студенческих научных работ и исследований. Он позволяет формировать гипотезы, проверять их в условиях виртуальной среды и делать выводы без необходимости проведения технически или этически сложных экспериментов на людях или животных.

Обучение КЭА устанавливает междисциплинарные связи в образовательном процессе: обеспечивает знания в области анатомии, материаловедения, биомеханики, информатики и инженерии, отвечающие требованиям современного образования. В этой связи в передовых современных университетах и научных центрах внедряют программы, в которых студенты знакомятся с основами конечно-элементного моделирования.

Примером может служить лабораторные практики, на которых с использованием программного обеспечения студенты создают модель зуба, зубного ряда, элемента челюстно-лицевой системы, имплантатов, коронок и других конструкций. В ряде случаев для этой цели используются 3D – сканеры. Затем, студентами проводится КЭА модели, проверяются гипотезы, делаются выводы.

Обучение этапам КЭМ можно рассмотреть на примере исследования напряженно-деформированного состояния имплантата, изготовленного из сплава NiTi [Shruti S., с. 415]. Расчет проводится с помощью пакета инженерного анализа ANSYS, работающего на основе МКЭ [Бруйка В. А., с. 8].

Начальным этапом расчета (pre-processor) является создание модели, задание свойств материала и граничных условий, генерация сетки КЭ [Адеянов И.Е., с. 198]. Геометрическая модель имплантата представлена на рис. 1. Она представляет собой цилиндрический реконструктивный имплантат с размерами: диаметр 5,95 мм, высота 8,1 мм, диаметр центрального направляющего отверстия 3,2 мм.

Построенной модели присваиваются механические свойства материала. Материалом имплантата сплав NiTi со следующими механическими упругими константами: модуль продольной упругости $E=115$ ГПа коэффициент Пуассона $\nu=0,32$. В силу симметрии 3-D модели и прикладываемых нагрузок для численного анализа, может быть использована конечно-элементная модель четвертой части имплантата, на которой генерируется сетка КЭ (рис. 1, б - модель четвертой части имплантата).

На модель накладываются следующие граничные условия: основание закреплено вдоль направляющей, в двух продольных сечениях модели заданы условия симметрии, к верхней части приложена сжимающая распределенная нагрузка с постоянной интенсивностью, соответствующей силе 600 Н (рис. 1, в - граничные условия).

Следующим этапом (processor/solver) является непосредственно решение систем уравнений с заданными пользователем параметрами.

Заключительным этапом (post-processor) проводится анализ результатов расчета. В приведенном примере в результате статического расчета были получены поля эквивалентных напряжений и суммарных перемещений геометрии имплантата (рис. 2).

Рис. 1. 3D - модель имплантата и ее граничные условия:
а) модель сплошная; б) модель четвертой части имплантата; в) граничные условия
(3D model of the implant and its boundary conditions:
a) solid model; b) model of the fourth part of the implant; c) boundary conditions)

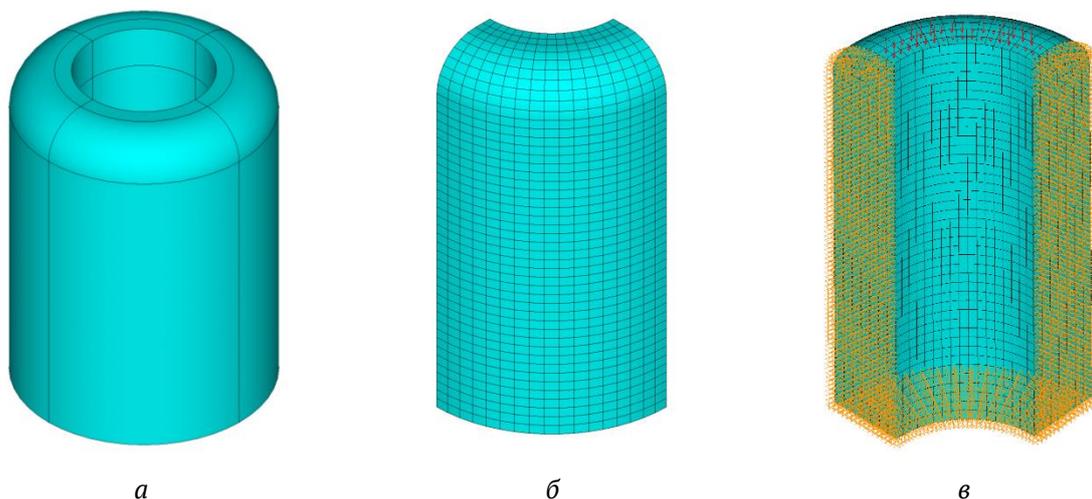
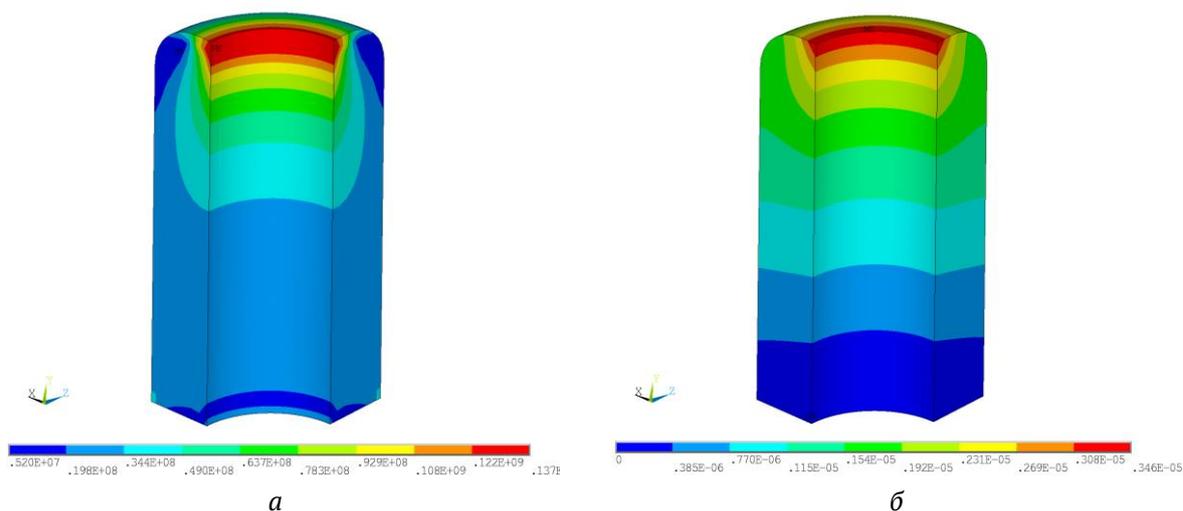


Рис. 2. Результаты численного анализа модели имплантата:
а) распределение эквивалентных напряжений, Па; б) распределение суммарных перемещений
(Results of the numerical analysis of the implant model:
a) distribution of equivalent stresses, Pa; b) distribution of total displacements)



Выводы. Таким образом, на простой модели имплантата студенты знакомятся с этапами численного расчета, осваивают МКЭ, обретают навыки работы с программным обеспечением. Аналогичная работа может быть представлена, как проектная деятельность – выполнение групповых проектов по моделированию конкретных объектов. Как междисциплинарная интеграция, для создания точных анатомических моделей могут быть использованы данные КТ/МРТ. Так же занятия могут проводиться совместно со студентами технической направленности (медицинская кибернетика, биоинженерия).

Освоение метода КЭА перед будущими стоматологами открывает перспективы дальнейшего использования цифровых технологий и искусственного интеллекта в процессе обучения и профессиональной деятельности.

КЭА в образовании стоматологов имеет свое логическое развитие: в автоматизации процессов расчета; интеграцией с машинным обучением, а именно прогнозированием последствий исходов на основе анализа большого количества модельных данных; виртуальной реальности и дополненной реальности – визуализацией напряжений и деформаций в 3D-формате в режиме реального времени; использование облачных платформ – доступ к программному обеспечению без установки на локальные компьютеры, что делает обучение более доступным.

Применение КЭА в образовании стоматологов открывает новые возможности для углубленного изучения биомеханики зубочелюстной системы, развития аналитического мышления и подготовки компетентных специалистов. Внедрение КЭА в учебный процесс обеспечивает формирование у студентов навыков, которые будут востребованы в условиях стремительно развивающейся цифровой науки. Это не просто инструмент для исследования, но и ведущий образовательный ресурс, способный повысить качество подготовки будущих стоматологов.

Литература:

1. Адеянов, И. Е. Численный анализ стоматологического имплантата с конструктивными особенностями / И.Е. Адеянов, М.Ю. Александрова // Известия Самарского научного центра РАН – 2023. – т. 25. – № 4(2) – С. 198-202.
2. Бруйка, В. А. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учебное пособие. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Я.В. Кураева. – Самара: Самар. гос. техн.ун-т, 2013. – 148 с.
3. Дьяченко, Д. Ю., Дьяченко С. Применение метода конечных элементов в компьютерной симуляции для улучшения качества лечения пациентов в стоматологии: систематический обзор // Кубанский научный медицинский вестник. – 2021. – №5. – С. 98-116.
4. Семенюк, В. М. Применение метода конечных элементов в стоматологии (обзор литературных источников) / В.М. Семенюк, И.Н. Путалова, А.В. Артюхор, А.В. Сырцова, А.К. Гуц // Математическое моделирование. – 2002. – вып. 9. – С. 1-11.
5. Shruti, S. Applications of Finite Element Analysis in Dentistry: A Review / Shruti Shivakumar, Vishal Shrishail Kudagi, Priyanka Talwade // Journal of International Oral Health. – 2021. – V. 13. – С. 415-422.

APPLICATION OF FINITE ELEMENT ANALYSIS IN DENTIST EDUCATION: MODERN APPROACHES AND PROSPECTS

© 2025 M.Yu. Aleksandrova

*Margarita Yu. Aleksandrova, PhD in Engineering, Associate Professor
of The Department of Mechanics*

Email: kris-maks@mail.ru

*Samara State Technical University
Samara, Russia*

In today's environment, training highly qualified dental specialists requires integrating digital technologies into the educational process. Finite element analysis (FEA), which enables highly accurate modeling of biomechanical processes in the dental system, is emerging as one of the most promising tools. This article examines modern approaches to integrating FEA into the educational and research activities of dental students. Particular attention is paid to developing students' scientific and analytical thinking skills: through the visualization of stress-strain states, students gain a deeper understanding of the interrelationships between the anatomical, physiological, and engineering aspects of clinical practice. It is demonstrated that mastering FEA facilitates the development of competencies in digital dentistry, including working with software packages (ANSYS, SolidWorks, etc.), interpreting numerical results, and developing substantiated clinical hypotheses. Furthermore, FEA serves as an interdisciplinary bridge between medicine, biomechanics, materials science, and information technology. In the future, the method can be integrated with virtual and augmented reality technologies, machine learning, and cloud computing, opening new horizons for innovative training of future dentists.

Key words: finite element analysis, modern educational methods, digital dentistry

DOI: 10.37313/2413-9645-2025-27-105-13-17

EDN: NUKISB

References:

1. Adeianov, I. E. Chislennyi analiz stomatologicheskogo implantata s konstruktivnymi osobennostiami (Numerical analysis of a dental implant with design features) / I.E. Adeianov, M.Iu. Aleksandrova // *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentr RAN* – 2023. – t. 25. – № 4(2) – S. 198-202.
2. Bruiaka, V. A. Inzhenernyi analiz v Ansys Workbench: Uchebnoe posobie (Engineering analysis in Ansys Workbench: A tutorial) / V.A. Bruiaka, V.G. Fokin, Ia.V. Ku-raeva. – Samara: Samar. gos. tekhn.un-t, 2013. – 148 s.
3. D'iachenko, D. Iu., D'iachenko S. Primenenie metoda konechnykh elementov v komp'iuternoi simuliatsii dlia uluchsheniia kachestva lecheniia patsientov v stomatologii: sistemicheskii obzor (Application of the finite element method in computer simulation to improve the quality of patient treatment in dentistry: a systematic review) // *Kubanskiy nauchnyi meditsinskiy vestnik*. – 2021. – №5. – S. 98-116.
4. Semeniuk, V. M. Primenenie metoda konechnykh elementov v stomatologii (obzor literaturnykh istochnikov) (Application of the Finite Element Method in Dentistry (review of literary sources) / V.M. Semeniuk, I.N. Putalova, A.V. Artiukhor, A.V. Syrtsova, A.K. Guts // *Matematicheskoe modeli-rovaniye*. – 2002. – vyp. 9. – S. 1-11.
5. Shruti, S. Applications of Finite Element Analysis in Dentistry: A Review / Shruti Shivakumar, Vishal Shrishail Kudagi, Priyanka Talwade // *Journal of International Oral Health*. – 2021. – V. 13. – C. 415-422.