

ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО УЗЛА

Аннотация. В статье представлено описание проектирования и разработки приложения для анализа результатов моделирования экспериментального метода лечения клиновидных дефектов зубов. Программное обеспечение позволяет визуально спрогнозировать поведение того или иного материала при различных нагрузках и условиях. Описанное приложение разрабатывается с целью помочь стоматологам подтвердить применимость нового метода лечения с учетом физиологии пациента.

Ключевые слова: биомеханический узел, протетическая вкладка, биоматериалы, клиновидный дефект, matplotlib, визуализация данных, информационная система поддержки принятия решений.

Введение. В процессе формирования нового метода лечения некариозных дефектов зубов врачам-стоматологам необходимо подтвердить применимость разработанного подхода, в том числе проводя исследования напряженно-деформированного состояния зуба с дефектами и новым видом реставрации (либо новым вариантом материала) [1-3].

Одной из основных задач при анализе показателей является специализированная обработка полученных данных к наиболее подходящему для визуализации виду с помощью алгоритмов сортировки, сглаживания и т. д. Алгоритм обработки данных должен быть универсальным, быстрым и экономичным по отношению к вычислительной мощности. В связи с тем, что данные, полученные экспериментальным образом, содержат большие объемы информации, их аналитический анализ становится практически невозможным и появляется необходимость в использовании мощностей ЭВМ. Данные, зафиксированные в реальных условиях, как правило, имеют нелинейный вид, поэтому применение МНК в его классическом виде ста-

новится не оптимальным. Чтобы решить данную статистическую задачу, следует изучить иные методы решения подобных задач, которые имеют широкое распространение и признание. Стоит помнить, что МНК имеет различные модификации, которые позволяют успешно его применять для преобразования и последующего анализа данных, когда связи имеют нелинейный вид [4, 5].

Проблема исследования. Чаще всего помочь пользователю сориентироваться в данных помогают методы визуализации информации. Технологии отображения данных учитывают преобладание зрительного восприятия у человека, поэтому усиление ментальных процессов является отличным методом увеличения усвоенной информации. Благодаря свойству человеческого мышления — выявлять закономерности в последовательностях (даже когда их там нет), с целью структурирования и упрощения информации, подобная связь в виде зрительной системы человека и компьютером помогает извлекать необходимую для исследования и прогнозирования информацию из огромных массивов данных. Поскольку данные, полученные в результате фиксирования физических процессов, представлены в численном виде с заранее установленными переменными, в настоящее время ученые и инженеры активно применяют методы разведки и преобразования данных с последующей визуализацией, чтобы было проще выявить общие шаблоны (паттерны) в исследуемых процессах.

Материалы и методы. Наше приложение создается с целью визуализации и дальнейшего анализа поведения материалов для реставраций зуба при различном уровне внешней нагрузки. С его помощью возможно сделать выбор подходящего материала вкладки, учитывая персональные характеристики пациента. Интерфейс программы при этом должен быть понятен практикующим врачам.

При написании алгоритма парсинга и визуализации данных были выбраны следующие средства реализации:

- 1) язык программирования Python 3, данный язык легок в освоении и удобен для решения алгоритмических задач, поскольку имеет множество свободно распространяемых библиотек, в частности Matplotlib для визуализации данных и PyQt для создания пользовательского интерфейса;

2) средство визуализации данных в связи с выбранным языком программирования — Matplotlib. Библиотека имеет хороший функционал и проста для понимания начинающим.

CAE-пакет ANSYS Mechanical APDL позволил получить результаты вычислительных экспериментов по прогнозированию НДС системы зуб-реставрация, которые используются в качестве исходных данных для обработки к оптимальному для визуализации и анализа виду. Первым шагом необходимо выгрузить исходные данные, сохраненные в формате текстовых файлов со смешанными данными. Для этого выделены основные пункты по извлечению и обработке данных:

1) полученные исходные данные должны быть записаны во внутренние массивы данных (директорию текстовых файлов либо в базу данных);

2) запись данных из файла в массив возможно производить с помощью функции, которая сначала находит нужный столбец с данными (если таковых несколько), после чего построчно записывает данные для последующей обработки.

В планы на дальнейшую разработку включен перенос текущих данных и запись последующих сразу в БД, не формируя текстовые директории. Для разработки функции обработки файлов с исходными данными составлена функциональная модель (рис. 1).



Рис. 1. Функциональная модель

Основная сложность обработки исходных данных заключается в необходимости игнорирования побочной информации. На рис. 2 показан вид исходных данных. Для записи в базу данных необходимых значений реализован алгоритм, который сначала отыскивает название нужного столбца, затем записывает его значения.

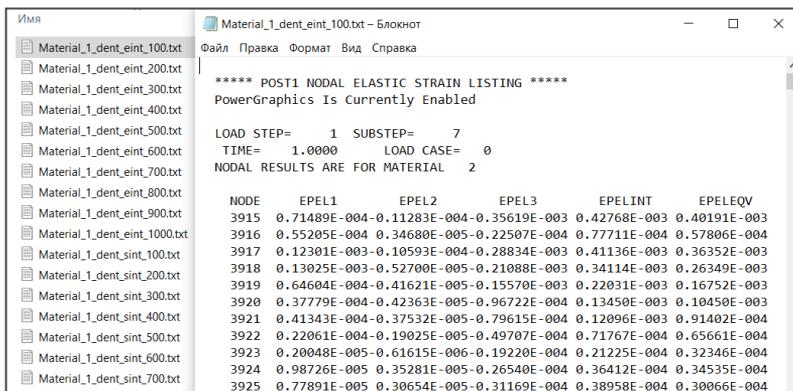


Рис. 2. Исходные данные

В дальнейшем данные выбираются по индексу столбца, т. е. необходимо отыскать название столба и записать его индекс, а затем построчно занести соответствующие данные. На рис. 3 продемонстрированы сформированные директории (рис. 3а) и вид отсортированных данных (рис. 3б).

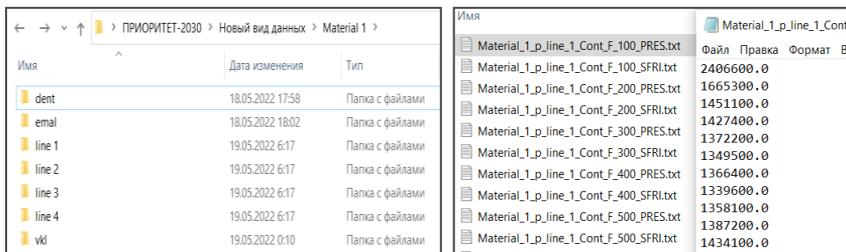


Рис. 3. Обработанные данные: а) директории с данными; б) структурированные данные

Вторым шагом реализован алгоритм, позволяющий осуществлять сглаживание результатов численного эксперимента (в частности, параметры контактного взаимодействия на границе зуб-реставрация) с помощью интерполяционных методов [6]. В рамках работы были рассмотрены два основных метода интерполяции: метод наименьших квадратов и метод сплайнов. При реализации сглаживания с помощью метода наименьших квадратов, строится классическая система линейных уравнений:

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum_{i=0}^n x_i + \dots + a_k \sum_{i=0}^n x_i^k = \sum_{i=0}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=0}^n x_i + a_1 \sum_{i=0}^n x_i^2 + \dots + a_k \sum_{i=0}^n x_i^{k+1} = \sum_{i=0}^n y_i x_i \\ \dots \\ a_0 \sum_{i=0}^n x_i^k + a_1 \sum_{i=0}^n x_i^{k+1} + \dots + a_k \sum_{i=0}^n x_i^{2k} = \sum_{i=0}^n y_i x_i^k \end{cases} \quad (1)$$

где x_i, y_i — координаты точек, полученные в результате обработки исходный файлов. Методами нелинейного программирования подбирается степень полинома. Затем происходит решение системы для отыскания коэффициентов a_k и последующее построение полинома.

Выше было отмечено, что внешний вид данных играет ключевую роль на пути к усвоению информации и выявлению необходимых параметров, которые являются решающими при решении поставленной задачи. Понятная и визуально приятная визуализация данных способствует стремительному анализу информации пользователем. Выбранная для визуализации в рамках нашего приложения библиотека `matplotlib` обладает всеми перечисленными выше характеристиками, которые имеют особенный вес при анализе данных. Данная библиотека обладает широким функционалом регулирования отображения данных. После изучения функционала этого инструмента становится возможным приведение данных к оптимальному для анализа виду с минимальными временными и иными ресурсами, что позволяет уделить оставшееся внимание на иные более важные аспекты своего исследования [6].

На рис. 4 представлены результаты, полученные при сглаживании данных с помощью интерполяции сплайнами (рис. 4а) и с помощью метода наименьших квадратов (рис. 4б).

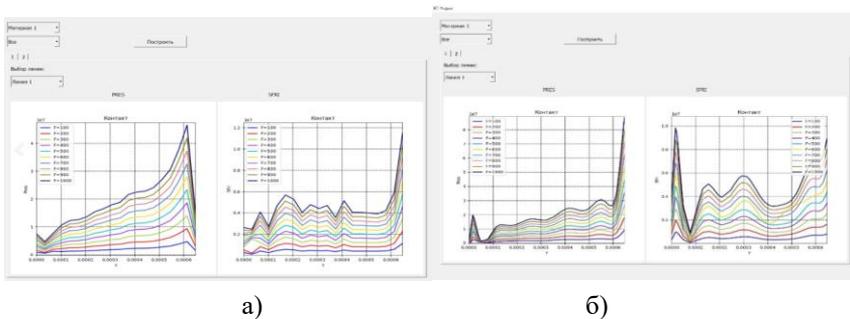


Рис. 4. Внешний вид графиков: а) интерполирование результатов сплайнами; б) интерполирование с помощью МНК

Отмечено, что при интерполяции с помощью метода наименьших квадратов абсолютная погрешность получается минимальной, поскольку специальная библиотека, реализующая интерполяцию с помощью сплайнов, существенно обрезает начальные значения.

Важной задачей при реализации информационной системы является реализация интерфейса, с помощью которого пользователь будет взаимодействовать с функционалом. Система представляет собой оконное приложение, имеющем 2 вкладки: интерфейс первой вкладки включает в себя выпадающие списки с возможностью выбора: материала вкладки, величины нагрузки и анализируемый параметр. Данный интерфейс содержит области для визуализации данных в виде графиков и моделей зуба. В ближайшее время планируется перенести готовый функционал в веб-сервис с последующей его интеграцией с БД на сервере.

Решение задачи. В нашем случае визуализация данных будет представлена в виде графиков, которые позволят наглядно сравнить деформационные характеристики биомеханического узла при различной нагрузке, чтобы врач-практик мог уверенно сделать выбор в

пользу оптимального материала. Визуализация данных должна полноценно отражать различные зависимости параметров, чтобы практикующий врач не испытывал трудности при их анализе. Средства реализации должны быть свободно распространяемыми на территории РФ.

Виджет для отображения вкладок включает в себя 2 вкладки, с помощью которых пользователь может удобно производить сравнение и анализ данных.

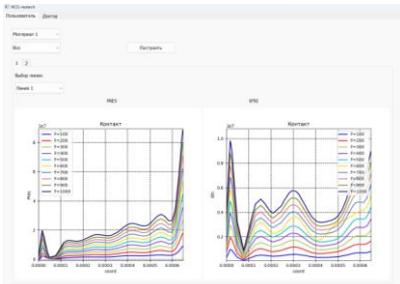
В первой вкладке отображается 2 графика: контактные давление и трения. Необходимо учитывать, что значения, по которым строятся графики, зависят от выбранных пользователем данных в выпадающих списках, находящихся в верхней области интерфейса.

Во второй вкладке создаются дополнительные виджеты для выпадающих списков с выбором элемента: эмаль, дентин, вкладка или все. При выборе «все» создается дополнительный выпадающий список с выбором: максимальных, средних, минимальных значений параметров. В зависимости от того, что было выбрано во втором списке, стоит задача выстраивать график со всеми элементами. Если в первом списке были выбраны пункты «эмаль», «дентин» или «вкладка», то график строится с минимальными, средними и максимальными значениями выбранного элемента.

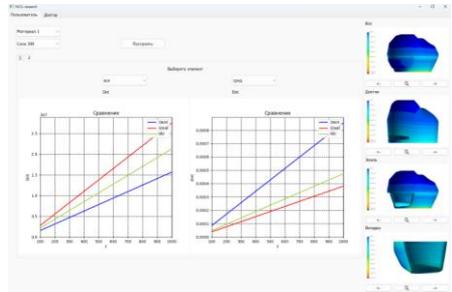
Примеры работы первой вкладки программы представлены на рис. 5.

Вторая вкладка данного окна создана для того, чтобы пользователь-врач мог загружать рентген-изображение зуба, на котором можно выбрать необходимые параметры для вычислений. Также врач в данной вкладке может выбрать материал или же создать свой собственный, задав параметры модулю Юнга и коэффициент Пуассона. После выбора материала и других параметров вы можете сохранить их для дальнейших вычислений в ANSYS Mechanical.

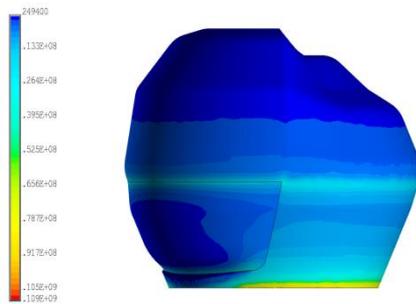
Пример работы второй вкладки программы представлен на рис. 6.



а)

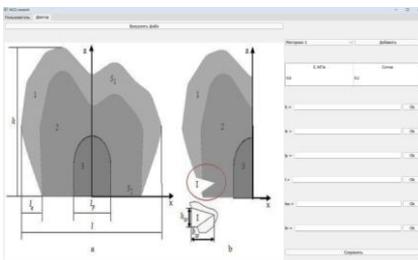


б)

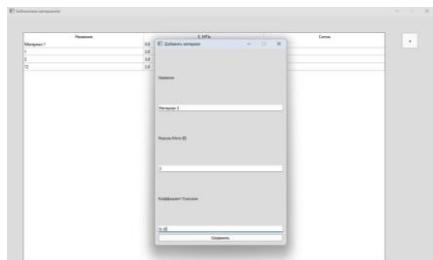


в)

Рис. 5. Интерфейс первой вкладки приложения:
а) окно 1, б) окно 2, в) увеличенное изображение



а)



б)

Рис. 6. Интерфейс второй вкладки приложения:
а) общий интерфейс вкладки, б) задание материала

Заключение. В результате работы разработаны алгоритмы поиска, обработки и подготовки данных для их использования при построении графиков в интерфейсной части разрабатываемого приложения. Создан интерфейс специализированного приложения для практикующих врачей-стоматологов, который позволяет облегчить анализ механического поведения биомеханического узла, посредством визуализации поведения материалов для вкладок зуба при различном напряжении с последующим выбором оптимального материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kamenskikh A.A., Sakhabutdinova L., Astashina N., Petrachev A., Nosov Y. Numerical Modeling of a New Type of Prosthetic Restoration for Non-Carious Cervical Lesions. *Materials* 2022, 15, 5102. <https://doi.org/10.3390/ma15155102>
2. Трегубов И. Д. Обоснование к применению современных полимерных материалов в клинике ортопедической стоматологии и ортодонтии: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — Волгоград: Волгоградский гос. мед. ун-т, 2007. — 32 с.
3. Зотов П.П. Использование методов математического моделирования для совершенствования подходов к выбору технологий восстановления разрушенных зубов // *Dental forum* — 2012 — № 3. — С. 39-40.
4. Мальцев Д.П. Выбор метода для функции интерполяции // *Международный студенческий научный вестник*. — 2020. — № 3. — С. 3.
5. Босяков С.М., Мселати А.Ф., Круподеров А.В. Математическое моделирование начальных перемещений корня зуба в форме двуполостного гиперболоида // *Белорусский государственный университет*. — 2015. — Т. 19, № 2. — С. 186-204.
6. Пылов П.А. Аналитика возможностей визуализации данных в разнообразных темах оформления на основе библиотек matplotlib и seaborn // *Россия молодая*. — 2020. — С. 21115.1-21115.5.