

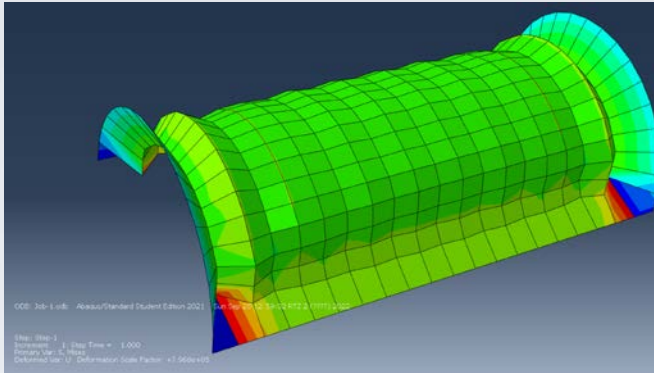
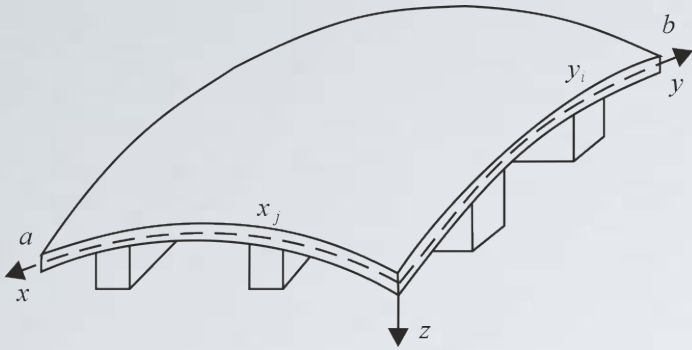
Особенности разработки нейросетевых веб-приложений расчета тонкостенных оболочечных конструкций



Згода Юрий Николаевич
аспирант кафедры информационных систем и технологий

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

Введение

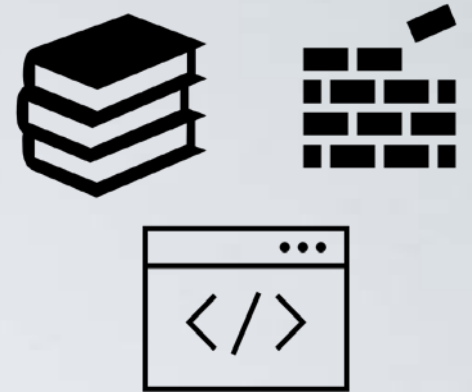


Оболочки – тонкостенные оболочечные конструкции

- Различные геометрические формы.
- Высокая прочность и жесткость.
- Распространенность во множестве отраслей.

Проблематика

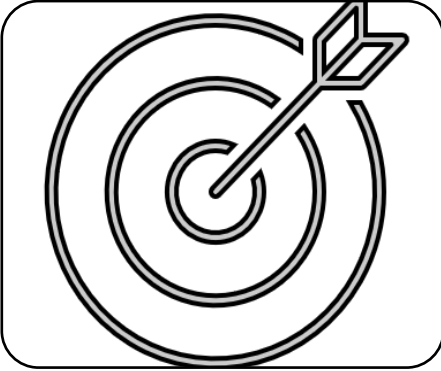
- Высокая длительность компьютерного моделирования.
- Отсутствие исследований по теме высокопроизводительного моделирования оболочек.
- Примеры использования машинного обучения в данной области единичны, их возможности не изучены.



Возможности и перспективы

- Прототипирование конструкций в реальном времени.
- Интеграция в учебный процесс.

Цели и задачи



Цель – разработка интерактивного веб-приложения нейросетевого моделирования тонкостенных оболочечных конструкций.

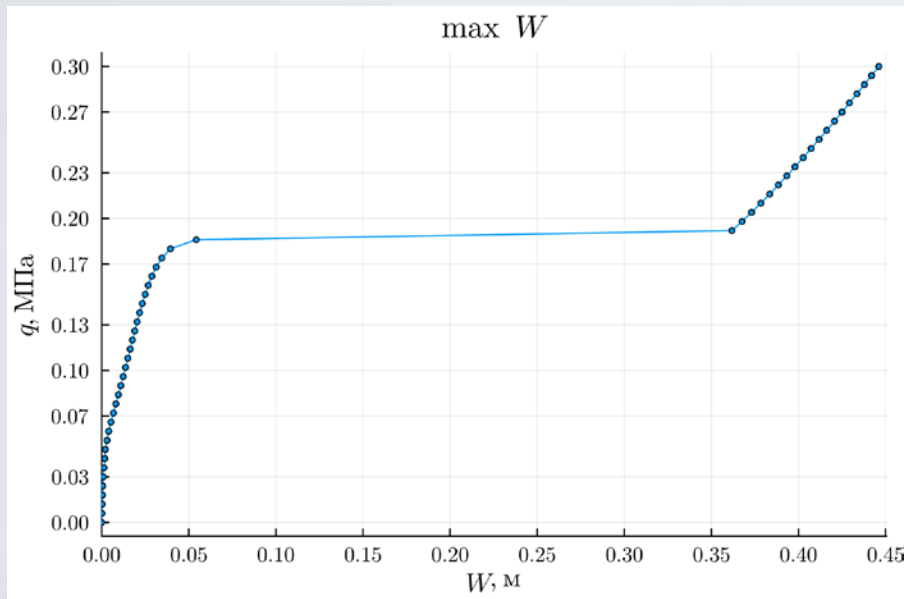
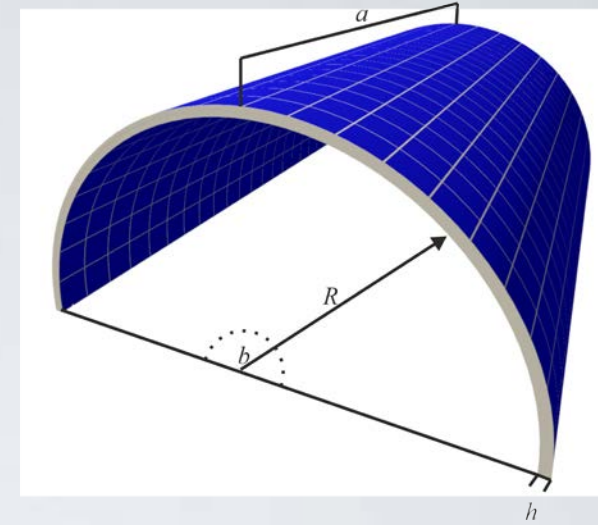


Задачи

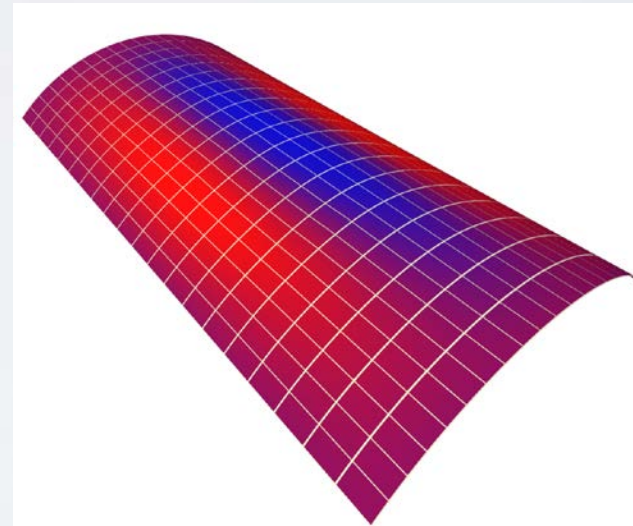
- Анализ различных аспектов реализации нейросетевых моделей деформирования оболочек.
- Разработка нейросетевой модели НДС оболочки.
- Создание веб-приложения.

Моделирование оболочки

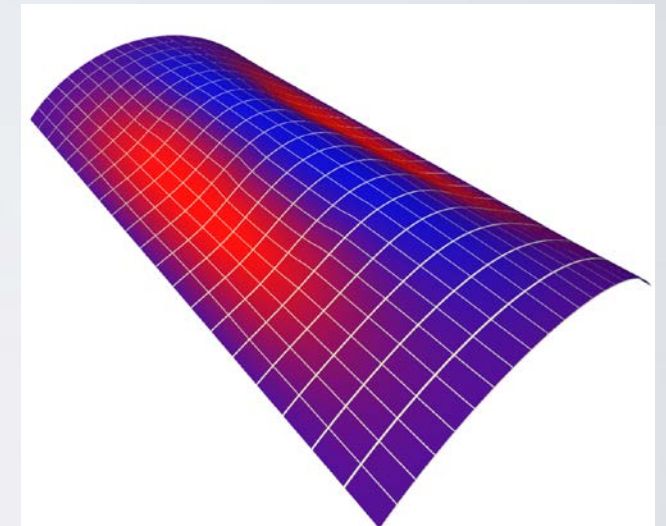
- Моделирование:
 - Геометрически-линейная, физически-нелинейная модель Тимошенко-Рейснера.
 - Геометрия – цилиндрическая (4 параметра).
 - Материал – изотропный.
- Основные параметры НДС:
 - U, V, W – поперечные, продольные и вертикальные перемещения.
 - Углы поворота Ψ_x, Ψ_y нормального отрезка в двух плоскостях.
- Модель позволяет определять критическую нагрузку.



До потери устойчивости

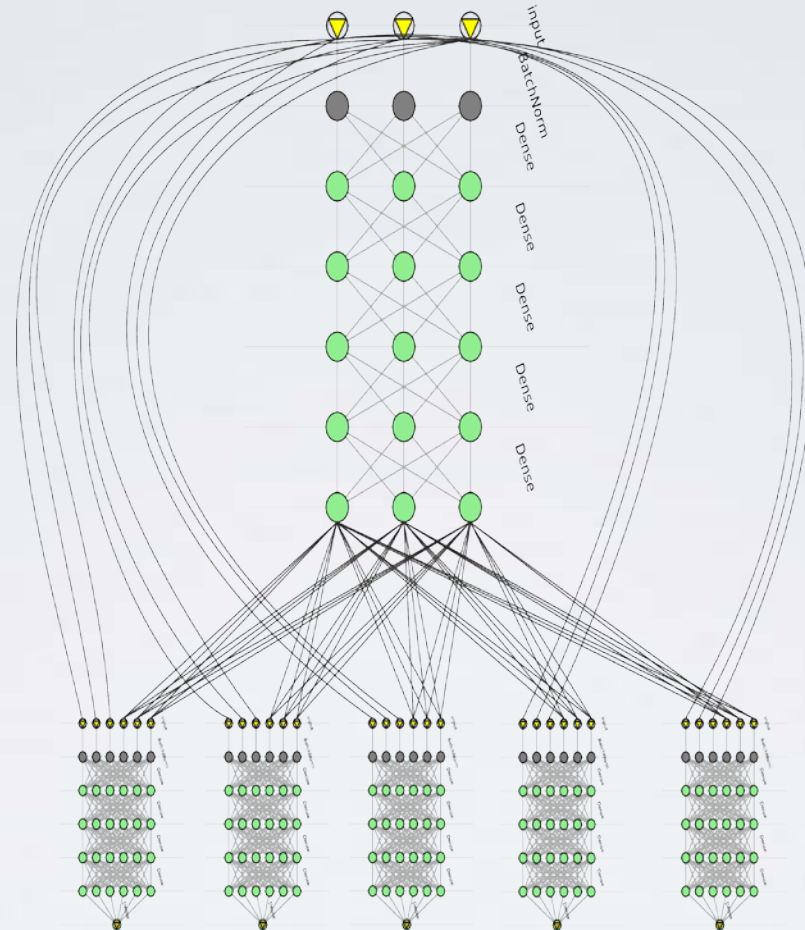


После потери устойчивости

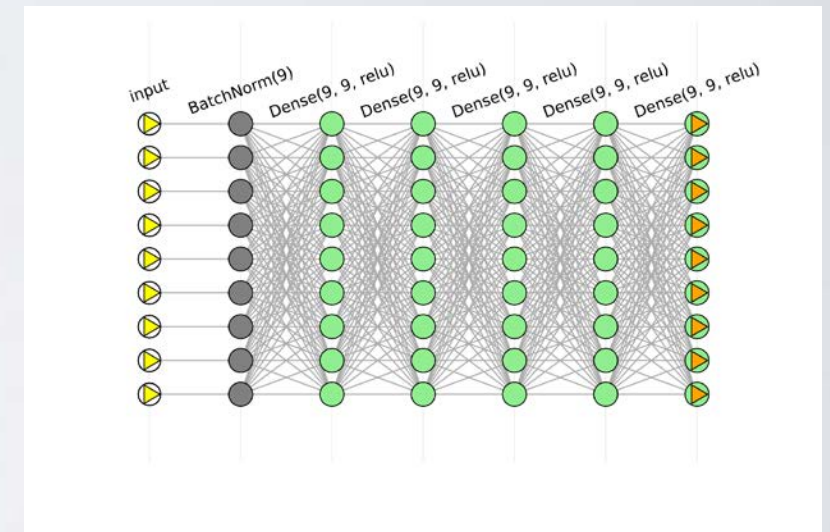


Архитектура нейросети

- Входной слой – 9 параметров.
- Слой Batch Normalization (BN).
- 5 полносвязных слоев по 162 нейрона каждый, ReLU.
- Проброска выходных данных последнего слоя и входных данных сети в 5 независимых подсетей.
- Выходные нейроны 5 подсетей образуют выходной вектор сети.
- ЯП Julia + Flux.jl.
- Loss = Mean Absolute Error.
- Алгоритм: ADAM

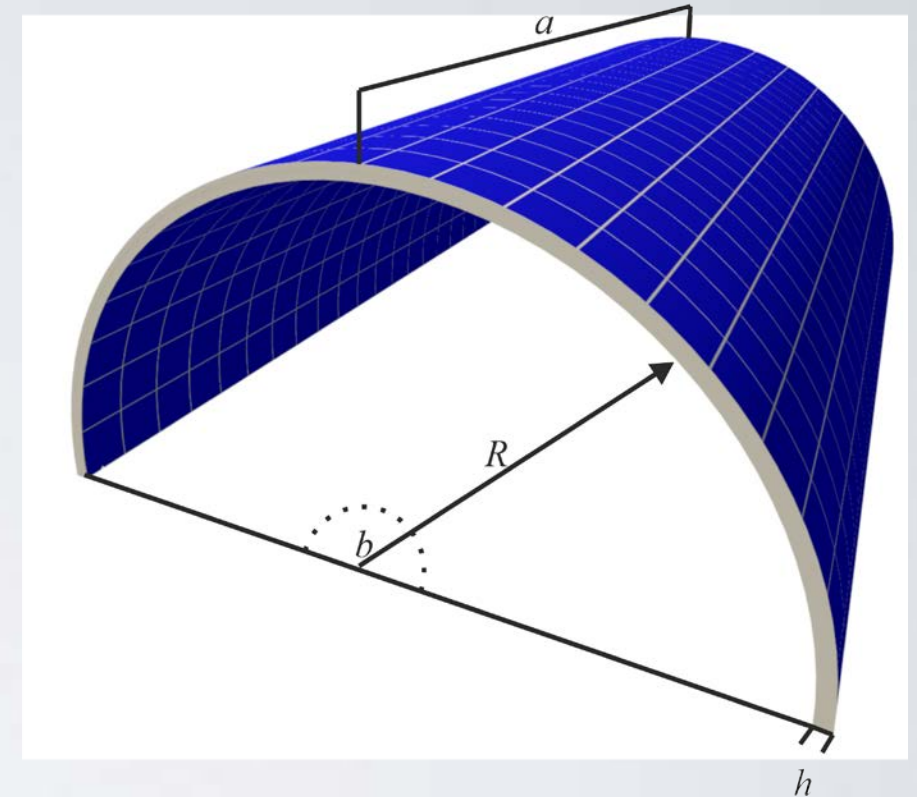


- Входной слой – 171 нейрон.
- Слой BN.
- 4 полносвязных слоя по 171 нейрон, активация – ReLU.
- Единичная активация.



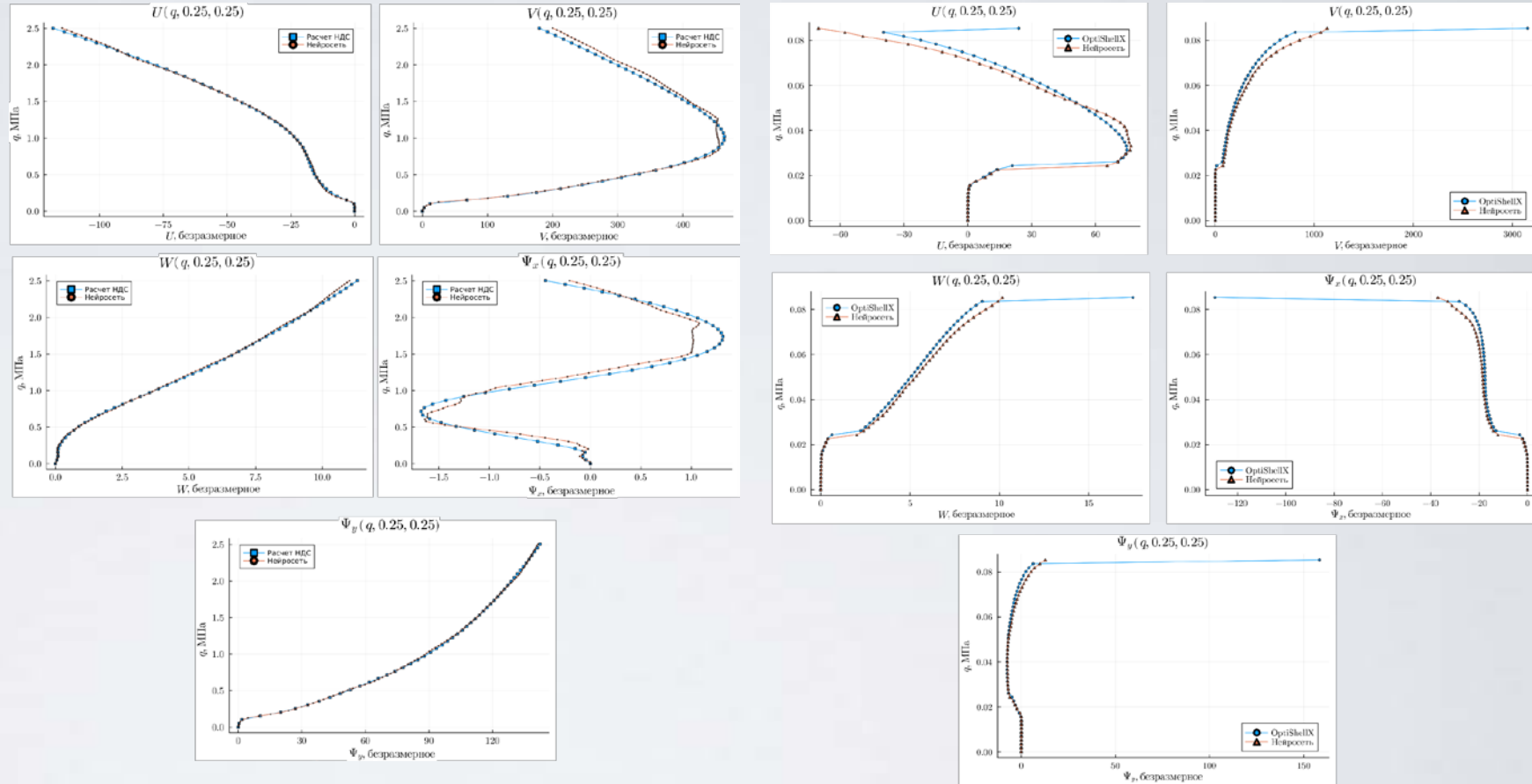
Обучающие данные

- Для расчетов использовалось авторское ПО **OptiShellX**.
- Для обучения выполнено моделирование **4 410 оболочек**:
 - $a \in [10 \text{ м}, 40 \text{ м}]$ с шагом в 5 м (итого 7 значений);
 - $b \in [\pi/2 \text{ рад}, \pi \text{ рад}]$ с шагом $\pi/12 \text{ рад}$ или 15° (итого 7 значений);
 - $h \in [0.01 \text{ м}, 0.05 \text{ м}]$ с шагом 0.01 м (итого 5 значений);
 - $R \in [5 \text{ м}, 25 \text{ м}]$ с шагом 5 м (итого 6 значений).
 - 3 материала: титан, сталь, алюминий.
- Моделирование производилось в **безразмерном** виде.
- Каждая конструкция рассматривается при 50 различных нагрузениях, сетка дискретизации – 9×9 (**43 659 000 пар**).
- Каждые 50 эпох обучения выполнялась частичная регенерация вектора обучающих данных для исключения переобучения на фиксированных координатах.

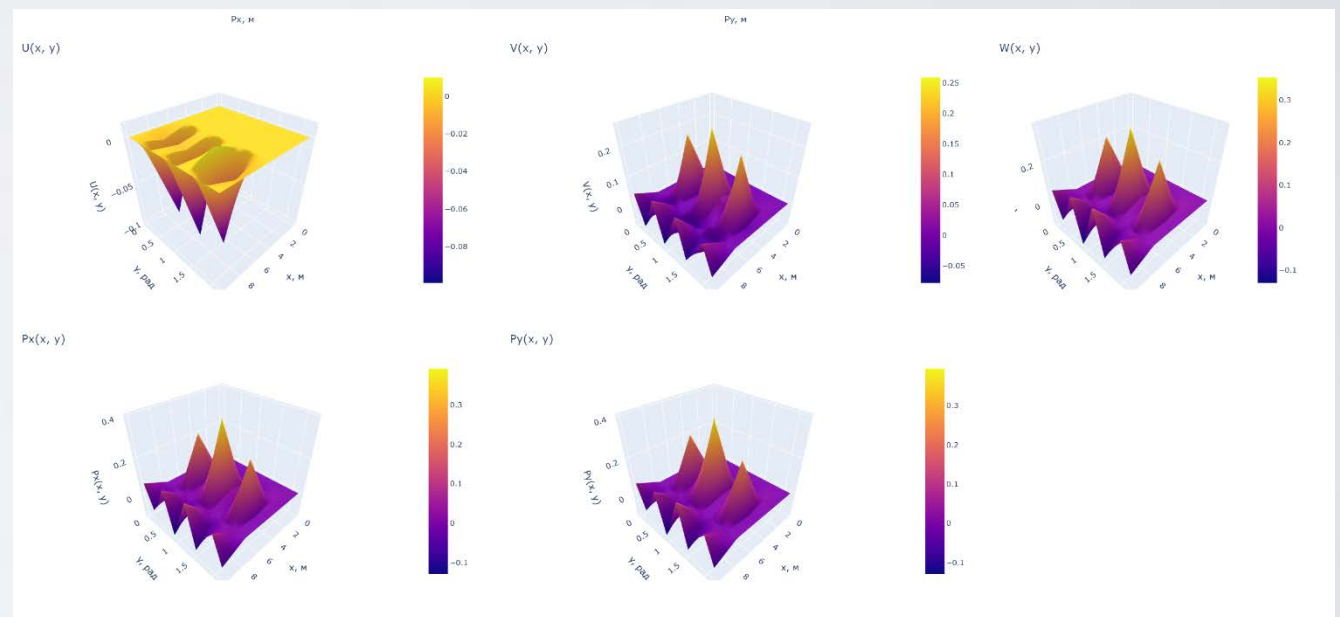
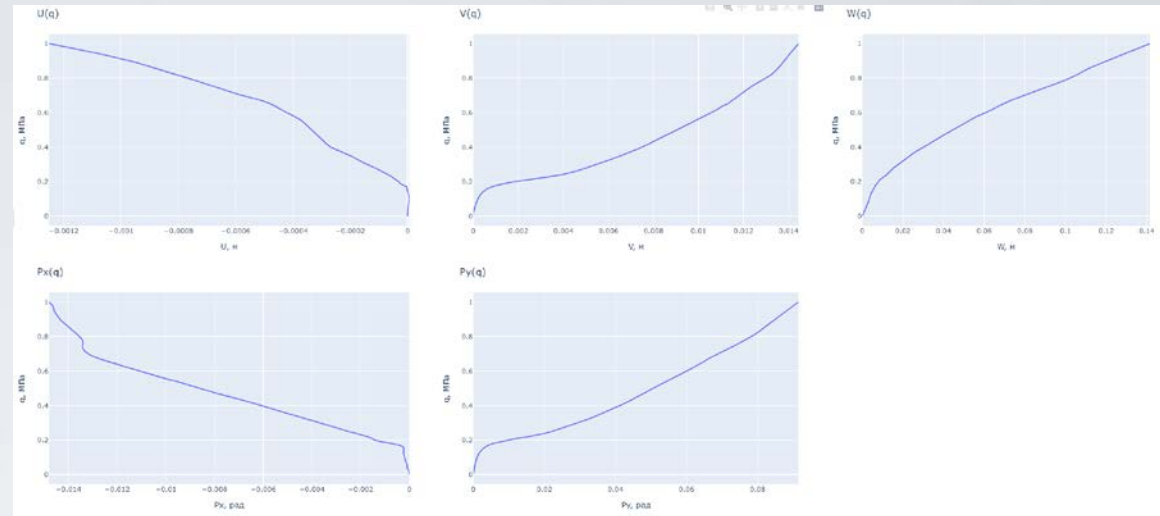


Результаты обучения

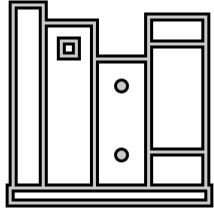
- Погрешность моделирования – около **10% от толщины конструкции**.
- Средняя длительность построения диаграммы «нагрузка-прогиб» для конкретной конструкции – **0.01 секунды**.
- Средняя абсолютная ошибка по вертикальному прогибу – **13% от толщины конструкции**.
- Большая часть диаграммы «нагрузка-прогиб» совпадает с «классическим» расчетом



Пользовательский интерфейс

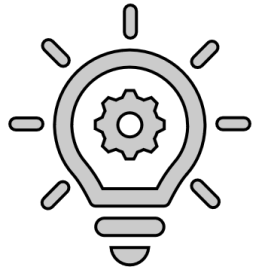


Выводы



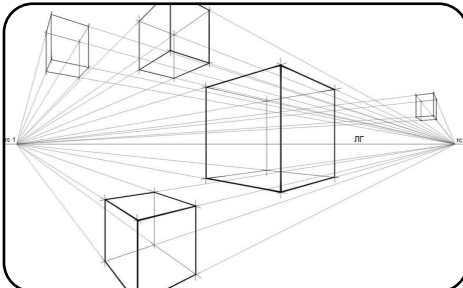
Разработано оригинальное ПО нейросетевого моделирования оболочек

- Моделирование выполняется практически в реальном времени
- На данный момент является единственным подобным решением



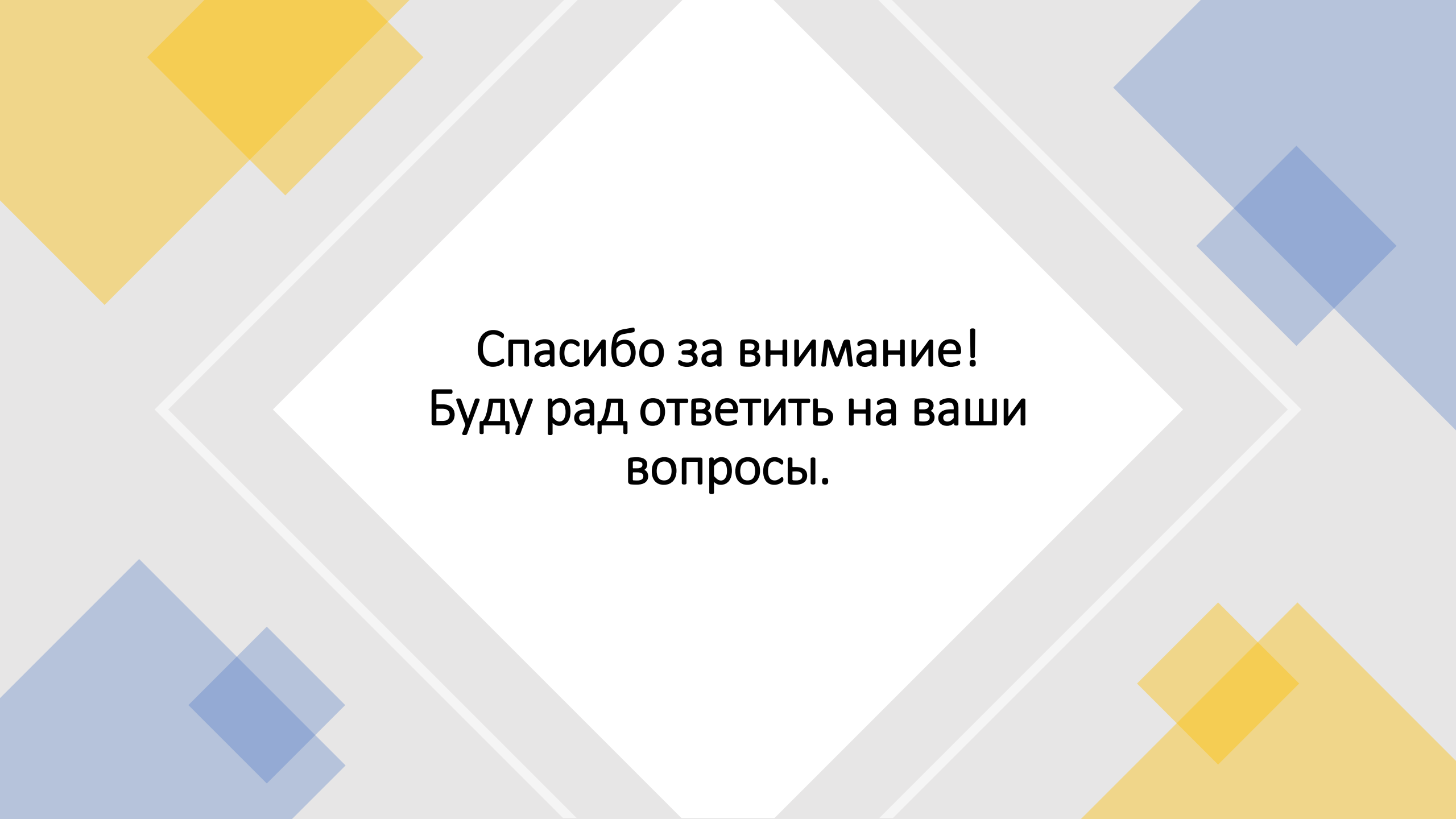
Интеграция в учебный процесс

- Упрощает отладку при моделировании оболочек
- Позволяет студентам оперативно выполнять верификацию результатов



Перспективы

- Интеграция объяснимого ИИ (eXplainable AI)
- Сокращение длительности вычислений
- Реализация дополнительных геометрических конфигураций
- Расширение диапазона входных параметров



**Спасибо за внимание!
Буду рад ответить на ваши
вопросы.**