

# Гибридные квантово-классические нейронные сети для анализа изображений магнитных плиток на наличие дефектов

---

НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО

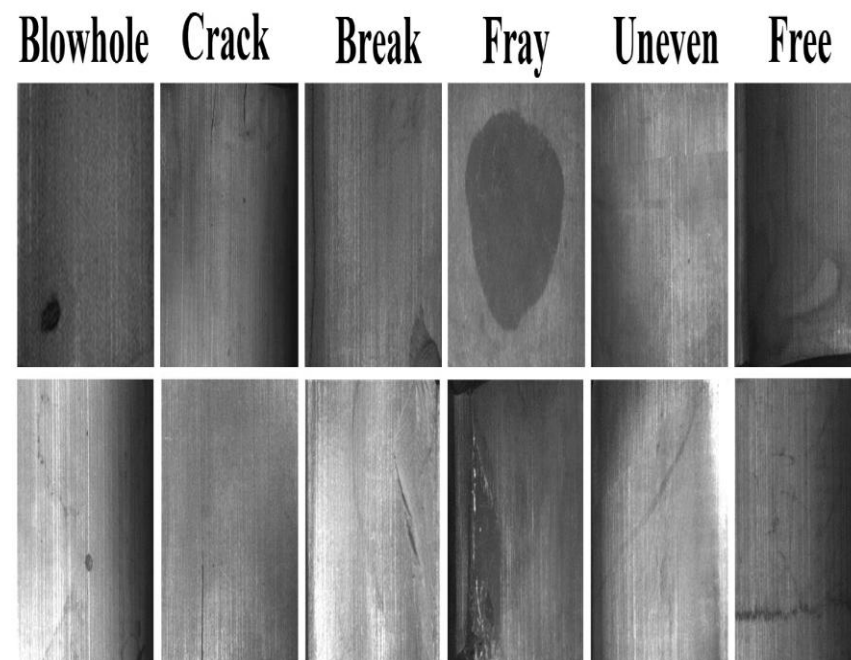
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,  
МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

АВТОРЫ: А.Д. ИВЛЕВ, А.В. ЛИНЕВ, М.В. БАСТРАКОВА



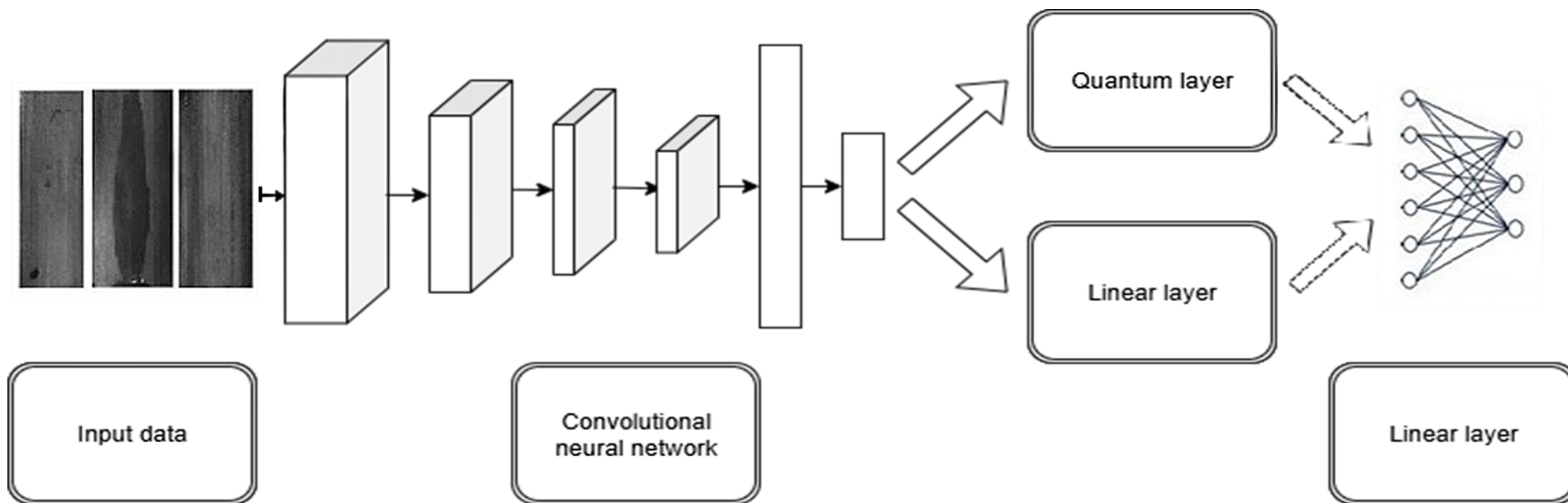
# Постановка задачи

- Исследовать возможность применения гибридной квантово-классической нейронной сети для решения прикладных задач бинарной и многоклассовой классификации изображений на примере задачи анализа дефектов магнитных плиток
- Сравнить точность и эффективность предложенной модели с полностью классическим аналогом, оценив устойчивость к переобучению и количество обучаемых параметров
- Обучить и протестировать квантовую часть как на симуляторе идеального квантового компьютера для анализа её возможностей, так и на симуляторе реальной системы `ibm_sherbrooke` для оценки применимости гибридных квантово-классических сетей в эпоху NISQ



Примеры изображений магнитных плиток

# Схема структуры гибридной квантово-классической нейронной сети

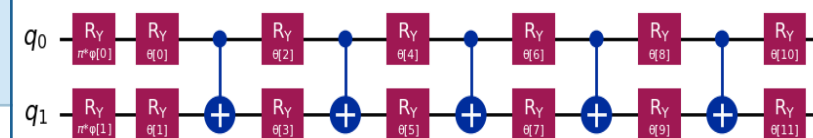


Для построения квантово-классической нейронной сети предлагается использовать подход трансферного обучения, в которой предварительно обученная классическая сеть модифицируется вариационной квантовой схемой. Также предлагается гибридный подход, в которой квантовый и линейный слой используются параллельно.

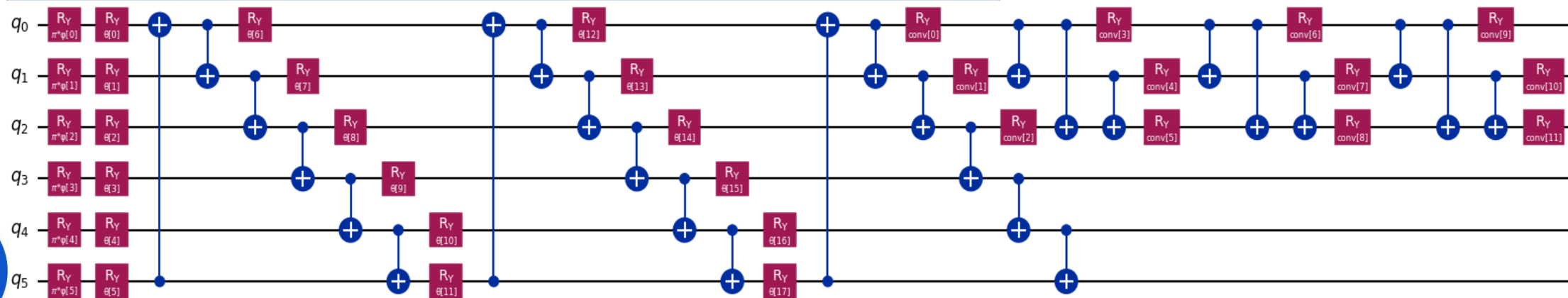


# Структура последних слоёв модели и схемы квантовых слоёв

| Тип классификации | Классическая модель |                    |                       | Квантовая модель |                    |                       |
|-------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|------------------|--------------------|-----------------------|
|                   | Тип слоя            | Размерность выхода | Количество параметров | Тип слоя         | Размерность выхода | Количество параметров |
| Бинарная          | Линейный            | 4                  | 12                    | Квантовый        | 4                  | 12                    |
|                   | Линейный            | 2                  | 10                    | Линейный         | 2                  | 10                    |
| Многоклассовая    | Линейный            | 8                  | 56                    | Квантовый        | 8                  | 30                    |
|                   | Линейный            | 6                  | 54                    | Линейный         | 6                  | 54                    |



Параметризованная квантовая схема слоя для бинарной классификации

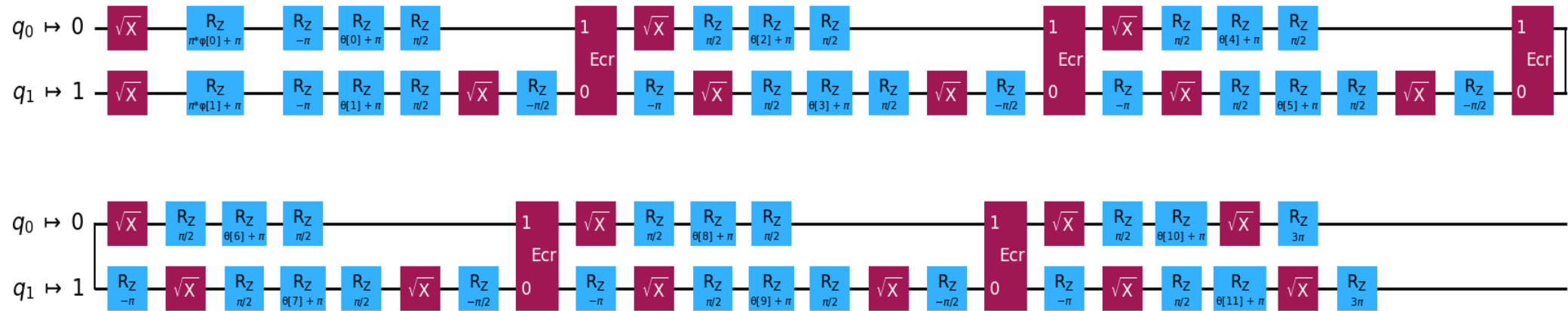


Параметризованная квантовая схема слоя для многоклассовой классификации



# Параметризованная квантовая схема слоя для бинарной классификации, адаптированная под квантовый компьютер IBM\_Sherbrooke

Global Phase:  $3\pi/2$

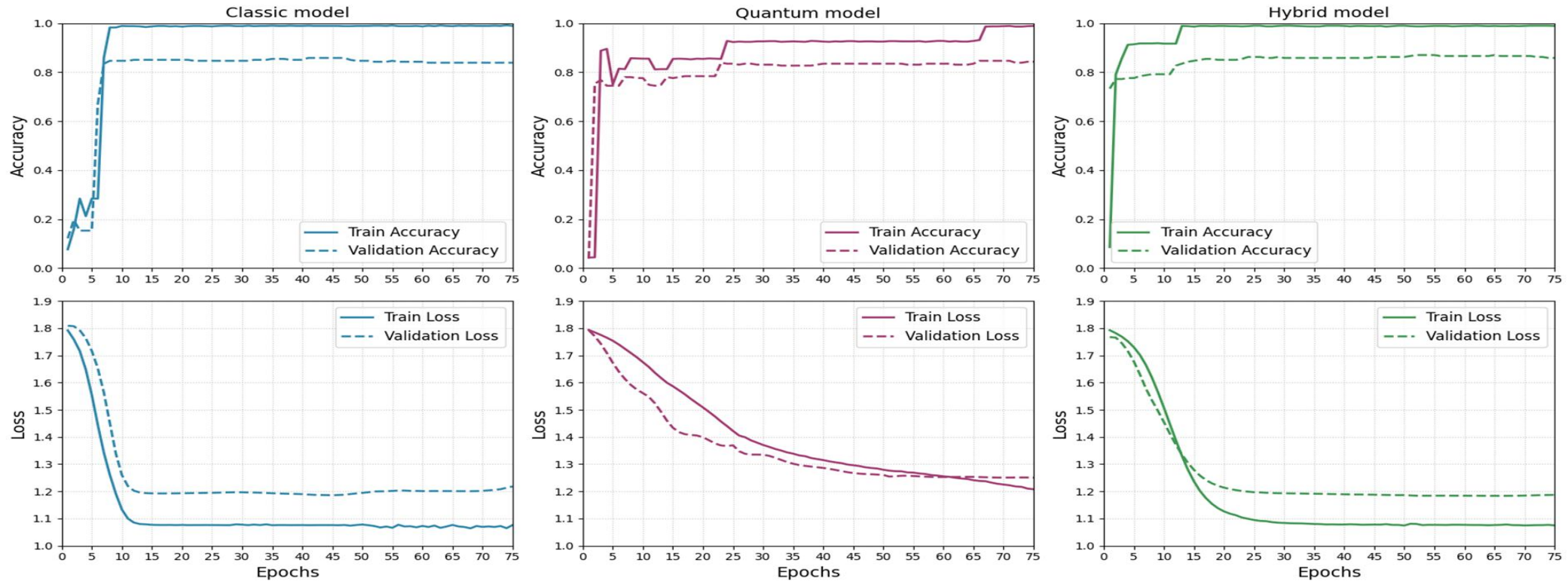


Квантовые схемы были адаптированы под ограничения квантового компьютера `ibm_sherbrooke`. Размер и глубина схем значительно увеличились по сравнению с первоначальными вариационными схемами.

Адаптированная схема для многоклассовой классификации оказалась слишком большой для запуска на симуляторе реального квантового компьютера, поэтому она не включена в данную работу.



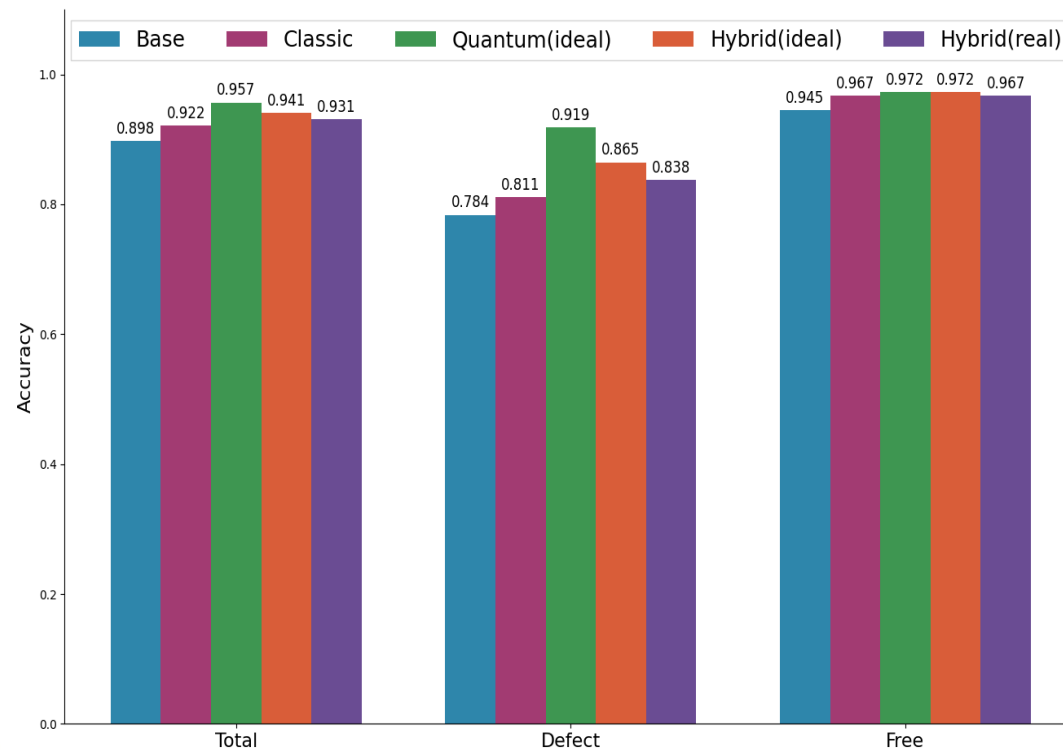
# Сравнение динамики точности и значения функции потерь для многоклассовой классификации



Квантовая модель имеет более низкую скорость сходимости при большей устойчивости к переобучению. При рассмотрении динамики обучения гибридной модели можно заметить поведение, которое наследует смешанную динамику двух подходов.



# Результаты экспериментов



Точность моделей для бинарной классификации на тестовой выборке

|               | Классическая модель |          | Квантовая модель |          | Гибридная модель |          |
|---------------|---------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|
|               | loss                | accuracy | loss             | accuracy | loss             | accuracy |
| Общие (255)   | 1.218               | 0.839    | 1.250            | 0.843    | 1.187            | 0.859    |
| Blowhole (22) | 1.627               | 0.455    | 1.606            | 0.410    | 1.559            | 0.455    |
| Break (16)    | 1.739               | 0.313    | 1.843            | 0.313    | 1.711            | 0.375    |
| Crack (10)    | 1.141               | 0.900    | 1.201            | 0.900    | 1.144            | 0.900    |
| Fray (6)      | 1.256               | 0.667    | 1.422            | 0.667    | 1.377            | 0.667    |
| Uneven (20)   | 1.351               | 0.700    | 1.402            | 0.700    | 1.348            | 0.700    |
| Free (181)    | 1.111               | 0.950    | 1.135            | 0.961    | 1.074            | 0.972    |

Результаты многоклассовой классификации на тестовой выборке



# Заключение

---

- Результаты показывают, что квантово-классическая модель демонстрирует точность лучше или сопоставимую с классической, при меньшем числе параметров.
- Добавление квантовых слоёв увеличивает время обучения, но повышает устойчивость к переобучению. Совмещение подходов даёт смешанный результат, перспективный для дальнейшего изучения.
- Использование предобученных на идеальном симуляторе параметров позволило сократить обучение на симуляторе реального квантового компьютера до одной эпохи. Точность при этом ниже, чем на идеальном симуляторе, но в среднем превышает показатель классической модели.

