

# Развитие медицинских аппаратно-программных решений на базе отечественных процессоров NeuroMatrix

Октябрь 2022 г.



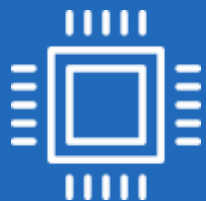
# О КОМПАНИИ

Основана

1990

Число сотрудников

650+



- Проектирование интегральных микросхем (услуги микроэлектронного дизайна);
- Проектирование и производство специальных вычислительных модулей, систем управления (бортовая и авиационная аппаратура);
- Производство и проектирование систем распознавания и анализа видеоизображений;
- Внедрение нейронных сетей и отечественной компонентной базы в современные автоматизированные комплексы различных индустрий: от навигации до беспилотных автомобилей и робототехники.





## Проблематика

Временные затраты врача на проведение процедуры МРТ позвоночника:

- Оценка снимка ~ 5 минут.
- Описание, формирование протокола ~ **20 минут.**

Итого **25** минут на 1 исследование в среднем.

Рабочий день радиолога — 6 часов.

Не более 12 исследований в день:

25 минут X ~10 исследований = 250 минут = **более 4**

**часов в день** на оценку снимка и формирование протокола.

### Итого:

Сейчас за 6-ти часовую смену радиолог успевает описать

**не более 10-12 исследований. Большая часть времени расходуется на описание протокола.**

## Предложенное решение



Сокращаем время описания исследования за счет автоматического заполнения протокола исследования. Без постановки диагноза.

- Оценка снимка ~ 5 минут.
- Описание, формирование протокола ~ **7 минут.**

Итого **12** минут на 1 исследование в среднем.

До 12 исследований в день:

12 минут X ~10 исследований = 120 минут = не более **2**

**часов в день** на оценку снимка и формирование протокола.

### Итого:

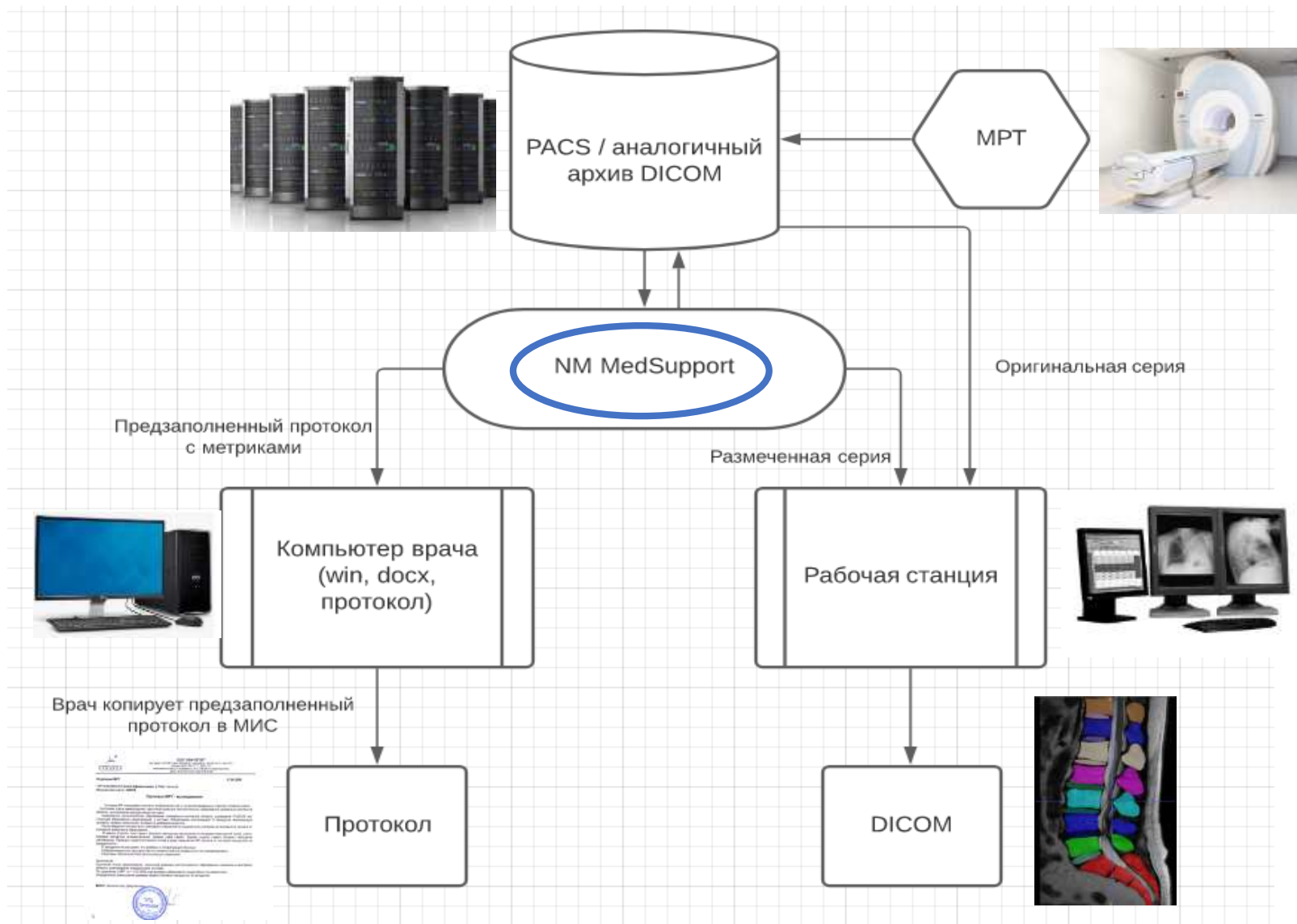
При стабильной нагрузке в 5-10-12 исследований в день, у врача остается на **50% больше времени на другие задачи.**

# Концепция проекта

Наша цель — помочь врачам делать свою работу

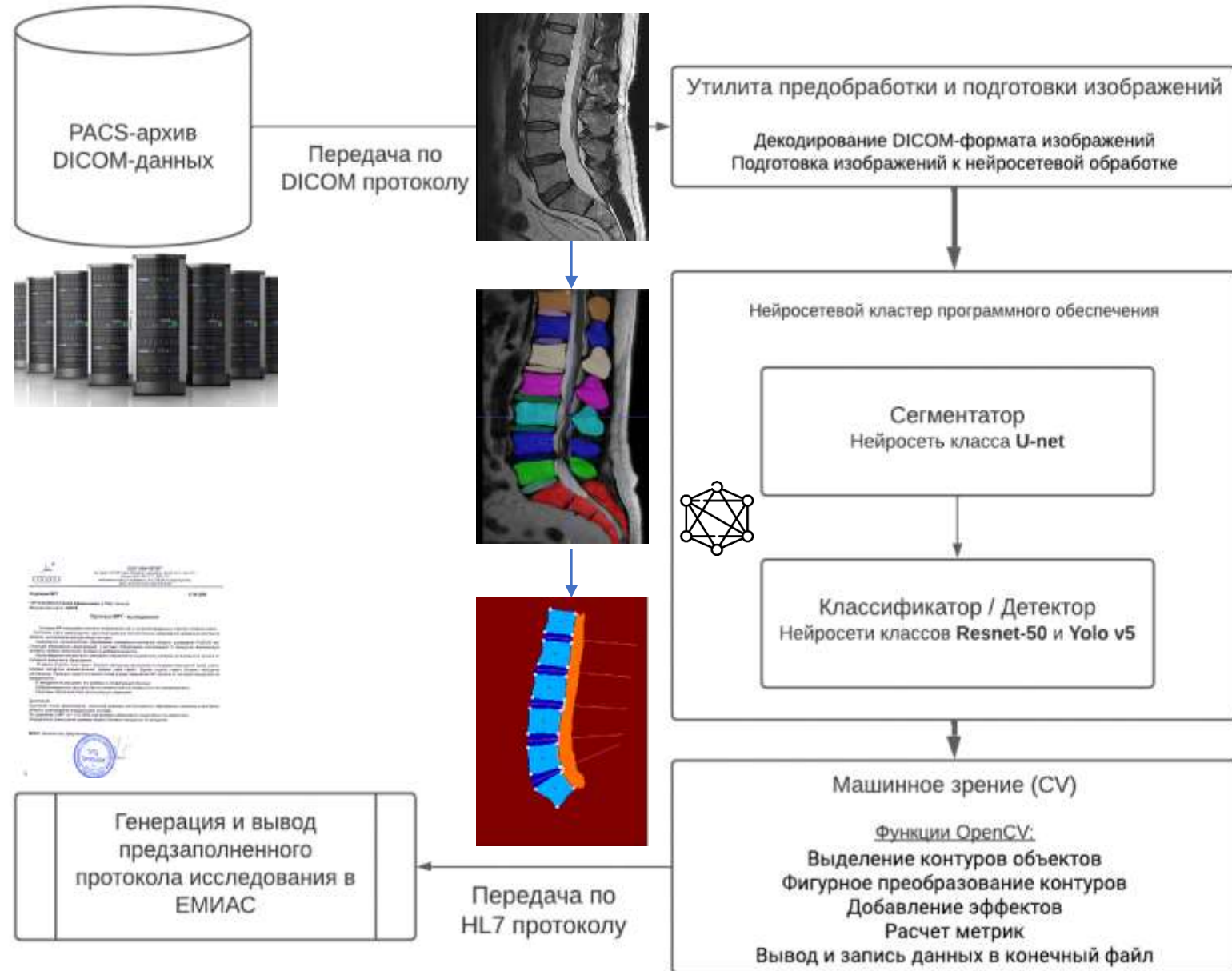
1. Обучаем комплекс искусственных нейронных сетей.
2. Распознаем, сегментируем и классифицируем объекты на МРТ-снимке в DICOM формате.
3. Измеряем геометрические размеры набора атрибутов исследования. Например, сагиттальный размер позвоночного канала, протяженность грыжевых выпячиваний и др.
4. Сохраняем метрики в редактируемом текстовом документе на компьютер врача (.docx, .txt). В перспективе — генерируем предзаполненный протокол исследования в МИС.
5. Направляем размеченную серию снимков на рабочую станцию врача.

Работает в один клик



# Структура программного стека

- Из PACS-архива по DICOM протоколу данные поступают на утилиту предобработки: декодируются, «отрезаются» лишние части снимка (фрагменты верхних позвонков и т.д.)
- Подготовленные изображения поступают на вход ИНС Resnet50-Unet, сегментируются по N (5) классам.
- Сегментированные снимки обрабатываются функциями OpenCV:
  - cv2.ConnectedComponentsWithStats;
  - cv2.FindContours, drawContours;
  - cv2.Erode, cv2.ConvexHull;
  - cv2.approxPolyDP;
  - cv2.line, cv2.bresenham march и др.Проводится сортировка по размеру, фильтрация и удаление «шума».
- Собранные геометрические метрики интерпретируются в медицинские.
- На рабочую станцию врача направляется сегментированная серия.
- На компьютер врача направляется предзаполненный протокол (в МИС по HL7-протоколу).



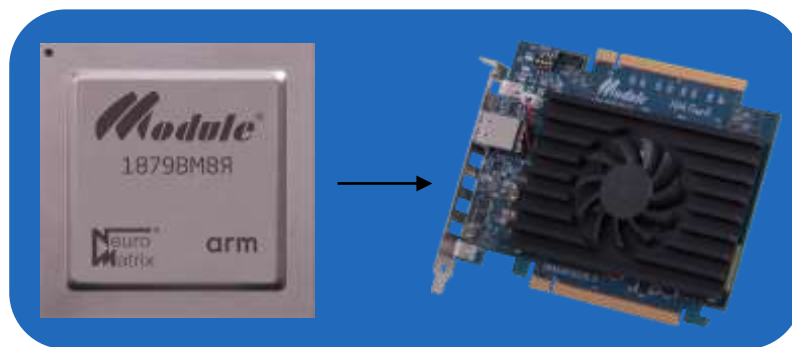
# Как это задумано: аппаратная часть



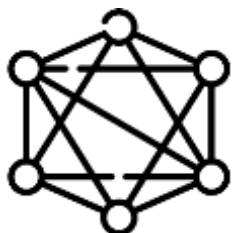
Плата формата mini ITX

ЦПУ  
Ethernet для внешнего обмена данными.  
PCI-e для общения с нейроускорителем.

Процессор ЦОС — NM6408.



Нейромодуль для реализации обученных ИНС — NM Card.



Обученные ИНС и утилиты для применения. Программная поддержка PACS- и HL7-протоколов.



Локальное устройство для врача-радиолога на базе NM6408 в компактном исполнении.

**NM MedSupport**



Серверный вычислитель, ассистирующий врачу-радиологу на базе NM6408

# Как это реализуется: программная часть.

## Обучение нейросети



В качестве базовой нейронной сети для сегментации была выбрана архитектура **Resnet50 — Unet**:

- ✓ Есть релевантный опыт работы с данной архитектурой.
- ✓ Эффективно работает на ядрах **NeuroMatrix Core**.
- ✓ Оптимально решает поставленную задачу.

- Обучение проводили в пакете TensorFlow 2.7.
- Аппаратная часть — DGX 2 (16 x V100).
- Оптимизировали параметры ИНС в сервисе Optuna.
- Проведено > 100 экспериментов с параллельным обучением.

### Параметры обучения

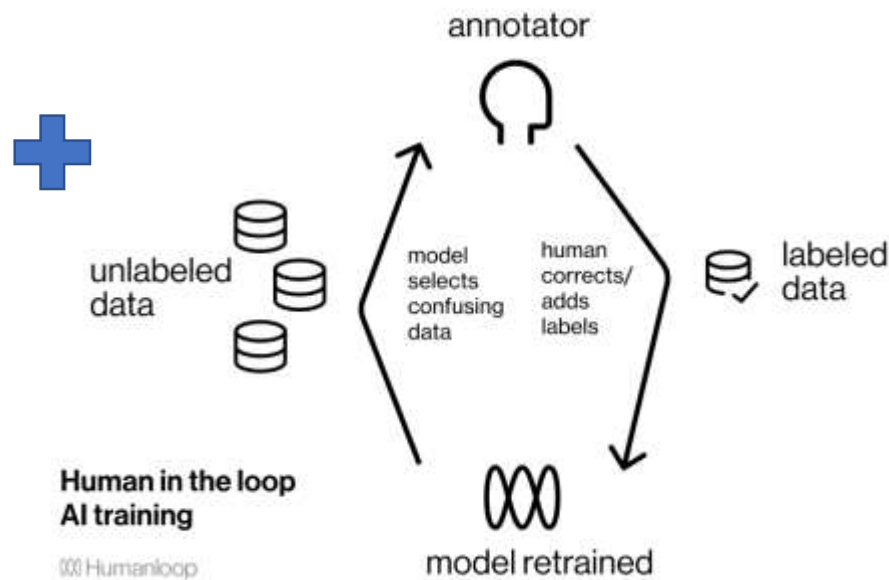
150 МРТ-исследований, в каждом по 15 срезов (изображений), выбираем 3 наиболее качественных.

**Training set:** 135 исследований = 405 срезов.

**Validation set:** 15 исследований = 45 срезов.

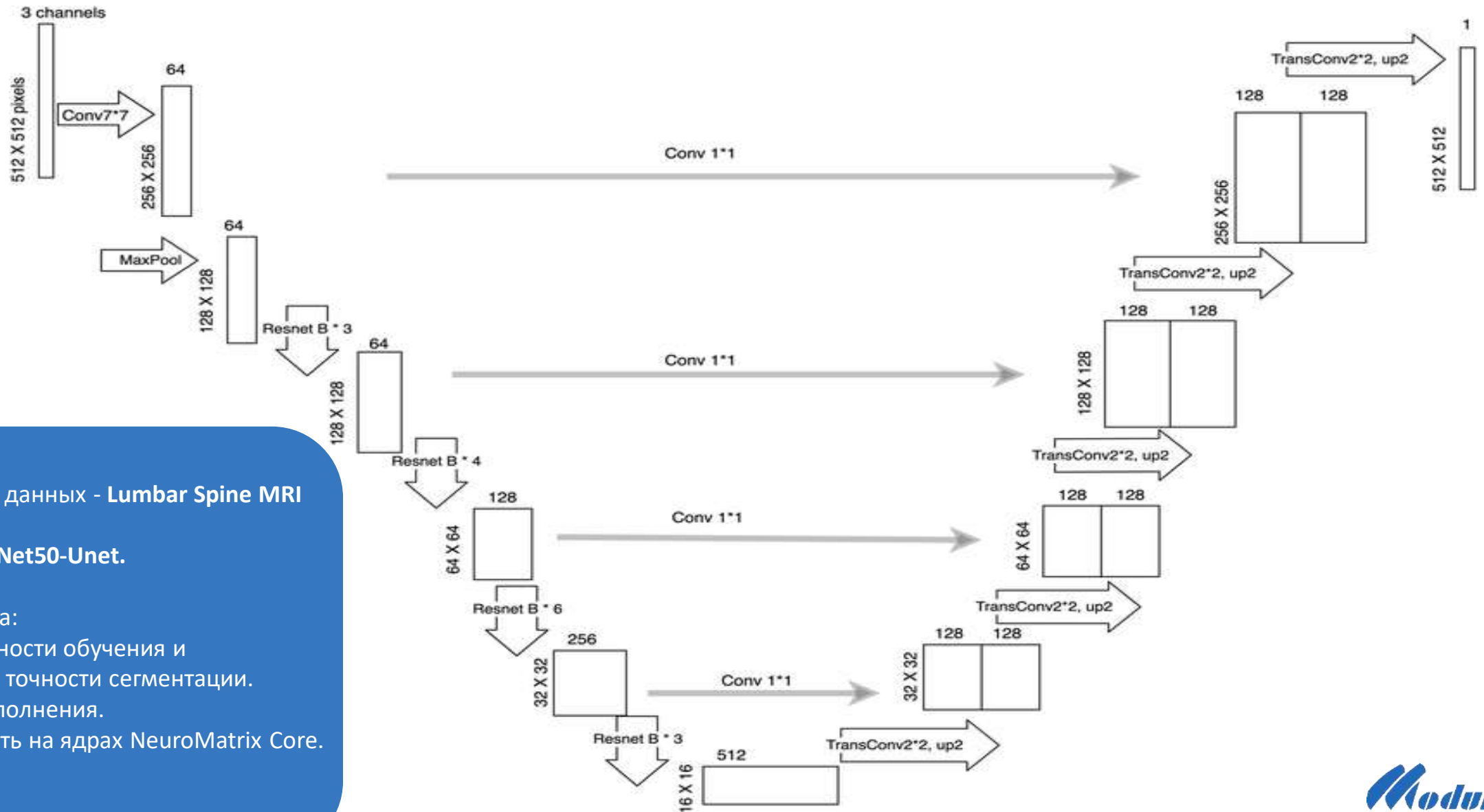
Сеть сходится за 50-75 эпох.

Функция потерь — **Dice Loss** (площадная потеря), метрика точности **IoU** («Intersection over Union»).



- ✓ Ускоряет разметку данных и обучения моделей ИНС.
- ✓ Ранняя обратная связь с разработчиком.
- ✓ Итерационный процесс.

# Архитектура нейросети



Основной набор данных - Lumbar Spine MRI Dataset.

Архитектура ResNet50-Unet.

Критерии выбора:

- Баланс сложности обучения и достигаемой точности сегментации.
- Скорость выполнения.
- Реализуемость на ядрах NeuroMatrix Core.



# Валидация и точность ИНС

Для повышения качества разметки данных и доверенности обученных ИНС, будет применена методика **многоцентровых исследований** в контексте разметки медицинских изображений.

Методика предполагает параллельную разметку данных независимыми экспертными группами. В качестве экспертов привлечены специалисты ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н. И. Пирогова» и ГДКБ им. Святого Владимира.



## Преимущества подхода:

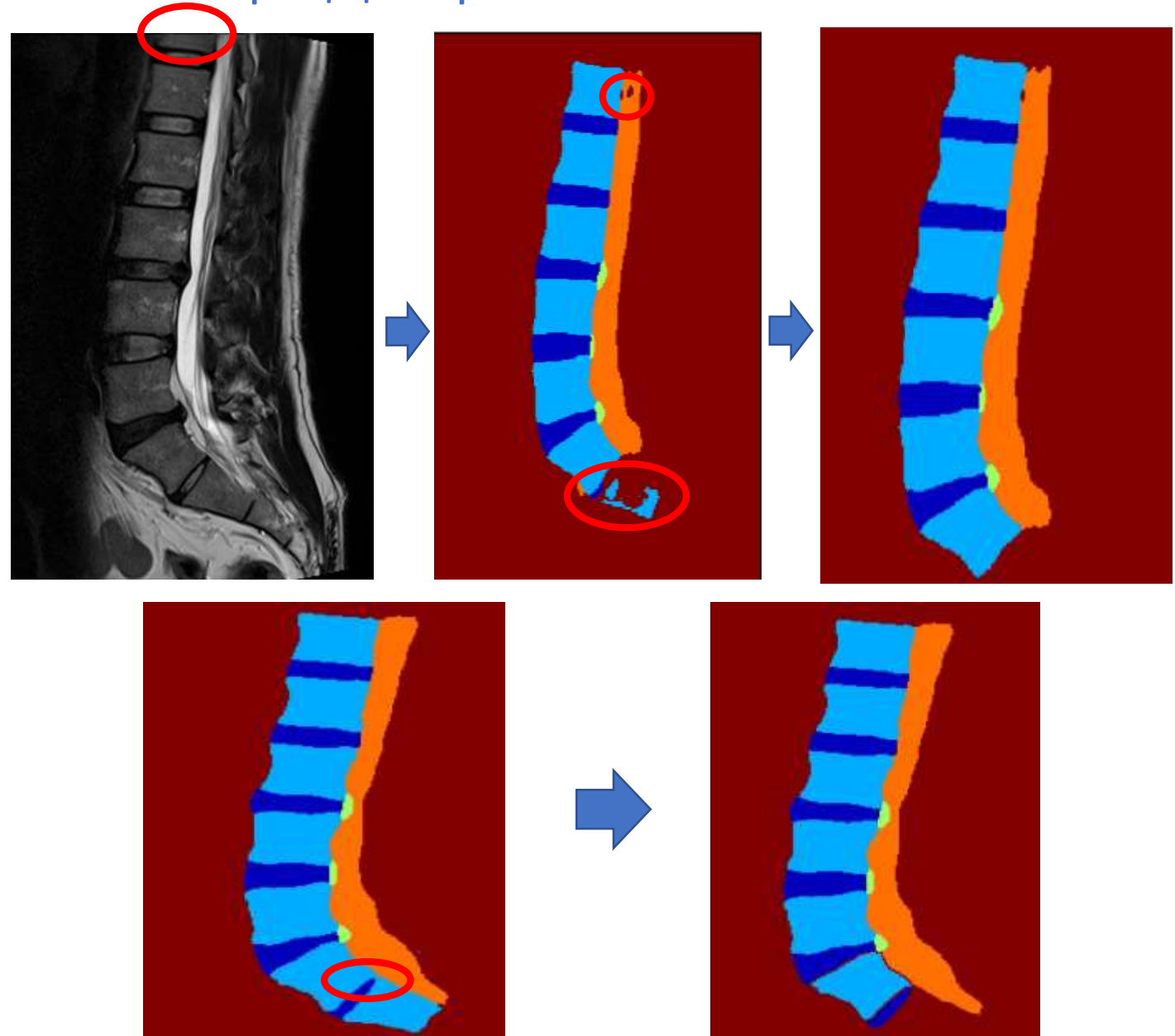
- Значительно снизит уровень дисперсии (статистического разброса).
- Минимизирует шанс человеческой ошибки.
- Повысит качество обработки МРТ-снимков с редкой клинической картиной.

## Достигнутая точность сегментации по IoU метрике:

- Грыжи — 0.71
- Межпозвоночные диски — 0.91
- Позвонки — 0.94
- Позвоночный канал — 0.91
- Фон — 0.99
- Среднее — 0.91

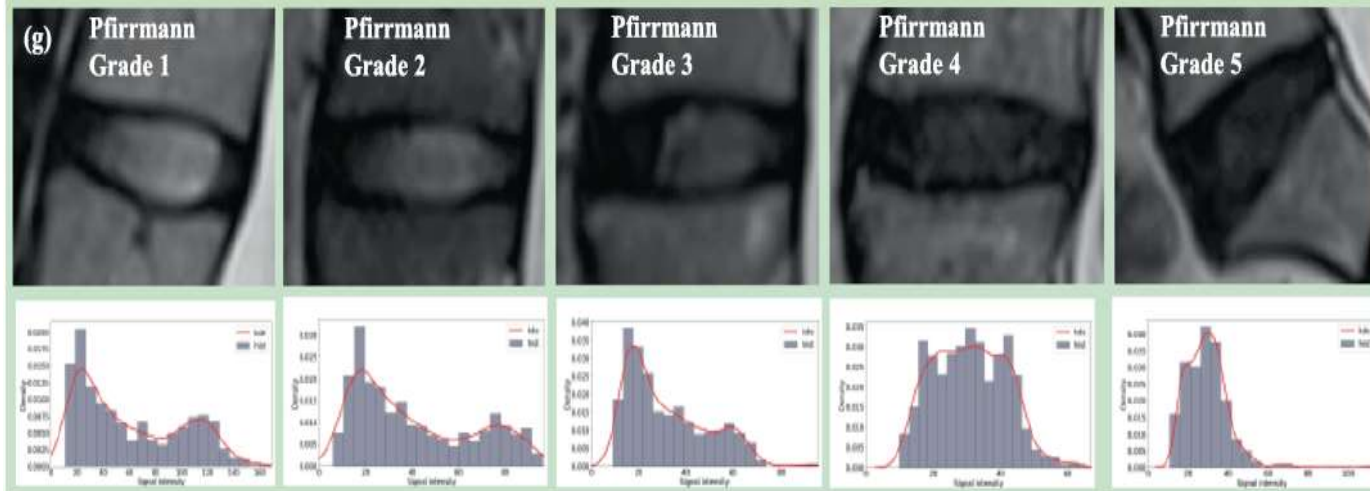
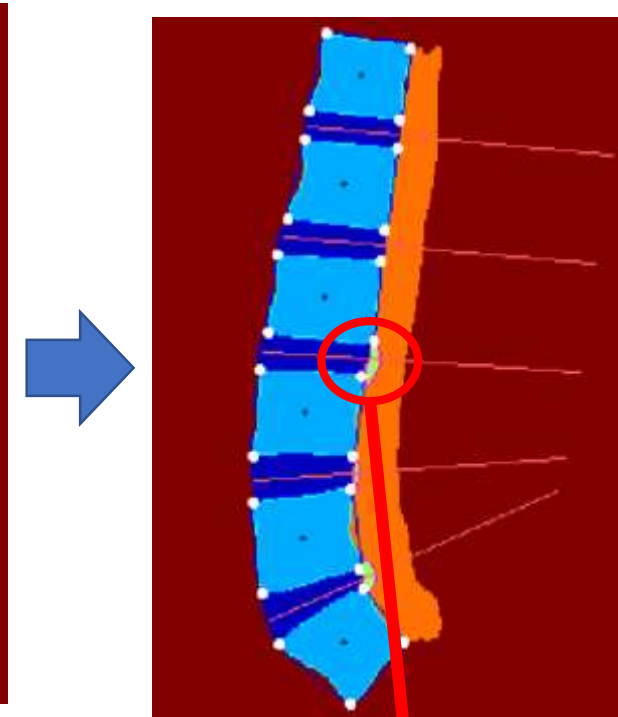
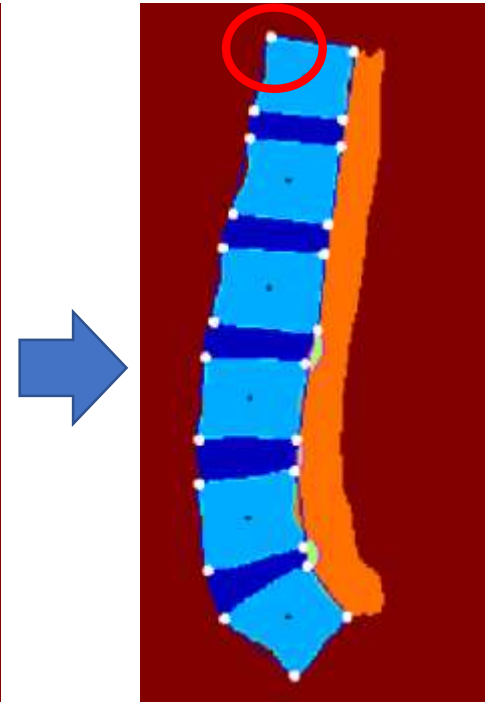
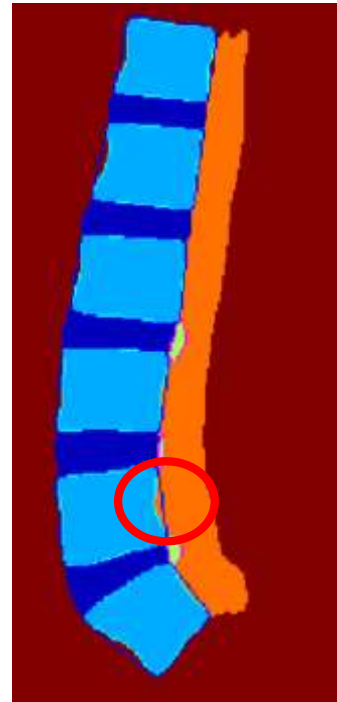
# Алгоритмы машинного зрения: предобработка и очистка

1. Для каждого класса сегментированных данных применяем **cv2.ConnectedComponentsWithStats**:  
Пикселям внутри классов присваиваются числовые маркеры (например, «позвонки» - 1, «грыжи» - 5 и т.д.). Помогает найти объекты, привязать к ним статистику и получить базовую геометрию объектов (центр масс и т.д.).
2. Сортируем и фильтруем объекты по размеру для каждого класса. Если «пятно» меньше заданного значения – мусор. Удаляем мелкий «шум», чистим изображение от мусора.
3. После очистки снова применяем п.1 для полученного изображения.
4. Сортируем по вертикали для нумерации объектов (позвонки и диски) по размеру. Позволяет зафиксировать расположение L1, L2 ... Ln позвонков относительно друг друга через координаты центров масс (какой за каким).
5. Находим и удаляем отверстия: **cv2.FindContours**, **cv2.drawContours**.
6. Повторяем пункты 1 и 4 для изображения без отверстий, т.к. изменились площади объектов и поменялась статистика.
7. Разделяем перемычки между нижними позвонками (L5 и S1) с помощью **cv2.erode** - морфологической эрозии.
8. Применяем п. 2 к классу позвонков. Удаление S2 (при наличии).



# Алгоритмы машинного зрения: контуры и метрики

1. Ищем контуры объектов. Все выпуклые оболочки вписываем в многоугольники. Получаем стороны и углы четырехугольников. ***cv2.ConvexHull*** → ***cv2.approxPolyDP***.
2. Определение ориентации углов. Вычисление метрик.
3. Анализ дисков по шкале Пфиррманна (без ИНС).
4. Анализ позвонков по шкале MODIC: анализ состояния верхних и нижних замыкательных пластин. Три степени классификации с применением доп. сети Resnet 50.
5. Анализ размеров грыж и стеноза позвоночного канала: ***cv2.line*** и ***bresenham march*** – получение координат пикселей линии, проведенной между двумя точками.
6. Интерпретация геометрической статистики в медицинские показатели.



Для оценки по Пфиррманну вычисляем дельту между пиками интенсивности сигнала, а также индекс высоты DHI дисков. Корреляция SI и DHI обеспечивает оценку состояния дисков по шкале Пфиррманна. Опираемся на последние исследования 2022 года.

Уже реализовали расчет SI и DHI метрик алгоритмами OpenCV.



# Резюме

Рассчитываемые метрики на данном этапе проекта:

Метрика	Статистика для 6 позвонков
Длины верхних замыкательных пластин позвонков	35.2, 38.2, 40.0, 41.3, 40.5, 34.9
Длины нижних замыкательных пластин позвонков	38.1, 40.0, 41.1, 43.7, 34.9, 15.8
Передняя высота позвонков	33.7, 35.4, 39.0, 35.1, 28.2, 35.5
Задняя высота позвонков	32.2, 33.1, 36.0, 32.2, 26.5, 28.6
Передняя высота дисков	9.2, 11.2, 13.0, 18.7, 8.5
Задняя высота дисков	10.2, 9.2, 11.0, 12.0, 6.3

Рассчитываемые индексы DHI и SI для шкалы Пфиррманна:

Диск	DHI	SI
L1-L2	0.27	115.3
L2-L3	0.29	77.6
L3-L4	0.35	98.7
L4-L5	0.41	21.1
L5-S1	0.07	11.1

- ✓ Устройство **не ставит диагноз**, а экономит время специалиста на выполнение рутинных задач по составлению протокола и снятию метрик со снимка.
- ✓ **Не требует освоения новых программ**: специалисты работают в привычных DICOM viewer и МИС-системах.

- ✓ Устройство **легко масштабируется** в зависимости от нагрузки и потребностей мед. учреждения: от компактного изделия в форм-факторе маршрутизатора, до полноценной серверной вычислительной станции.
- ✓ Устройство **легко модернизируется**: со временем будут включены не только МРТ-исследования, но и КТ-снимки, а также рентгенография.

# Спасибо за внимание!

## Контакты

[www.module.ru](http://www.module.ru)

Москва, 4-я улица 8 Марта, д.3  
Россия, 125190, г. Москва, а/я 166

тел.: +7 495 531-3080  
факс: +7 499 152-4661

Руководитель проекта:  
Эль-Хажж Халиль Мохамад

[khalil@module.ru](mailto:khalil@module.ru)

+7-963-618-43-35



**Module**  
RESEARCH CENTRE

RC Module® 2022