



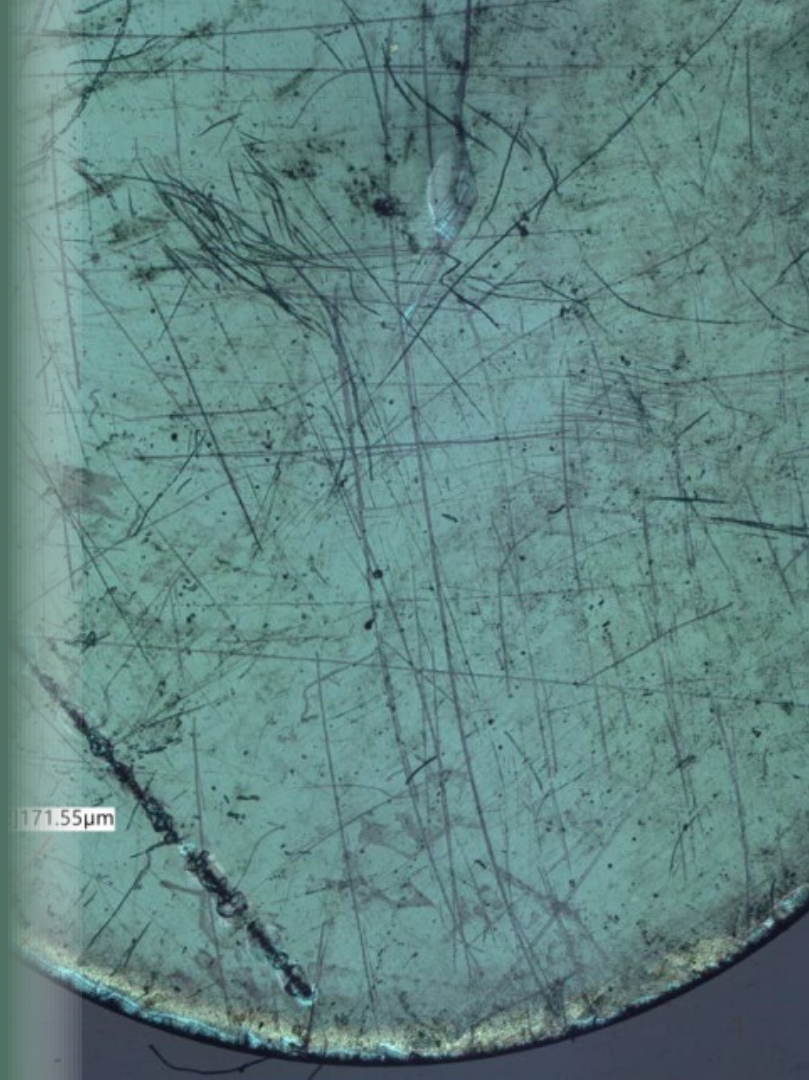
РОСАТОМ | РФЯЦ-ВНИИТФ

Перспективы внедрения машинного зрения, роботов и цифровых двойников в ядерно- физические исследования в РФЯЦ-ВНИИТФ

Забабахинские научные чтения, 2025



Докладчик –
Андреев Сергей Александрович



Две задачи

1

Трековая калориметрия

Ручной подсчет, $\Delta \sim 10\%$
Вопросы к достоверности

Цель – оптимизация технологического процесса и автоматизация подсчета треков (машинное зрение) для достижения погрешности не более 5%

2

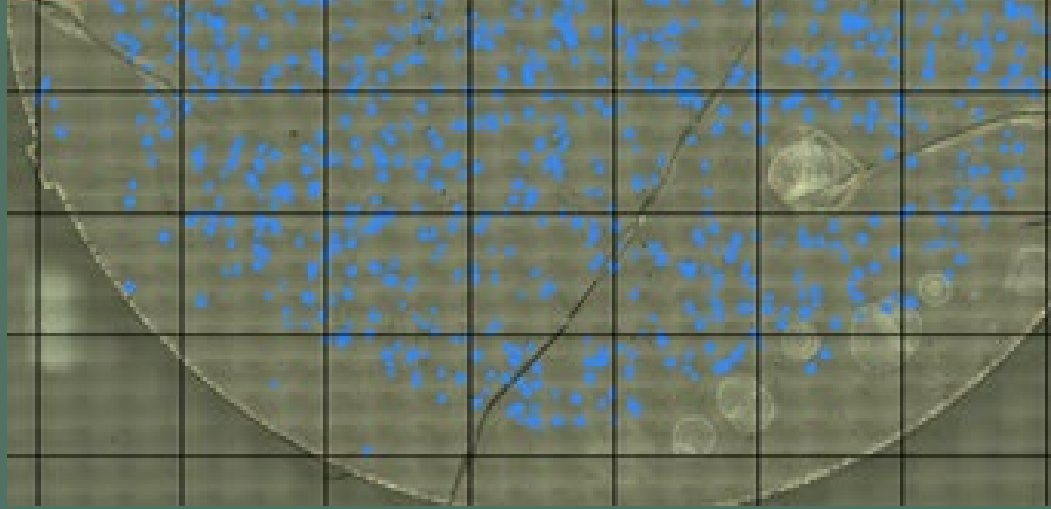
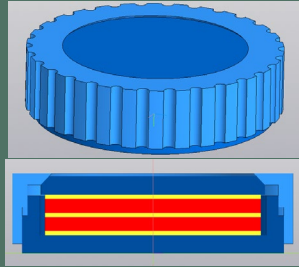
Критические эксперименты

Человеческий фактор (ручная сборка, ошибки при описании)
Рутинные трудоемкие работы

Цель – цифровизация и роботизация технологии критических экспериментов в обеспечение точности, достоверности и безопасности

Трековая калориметрия

Трековый детектор



Экспериментально-расчетный метод

$$A = K \cdot N_{\text{тр}} / N_{\text{яд}}$$

A – искомая величина: флюенс, энергия, доза и т.п.

K – расчетный коэффициент, связывающий число реакций на ядро Pu и искомую величину

$N_{\text{тр}}$ – число треков на регистраторе

$N_{\text{яд}}$ – число ядер Pu на подложке

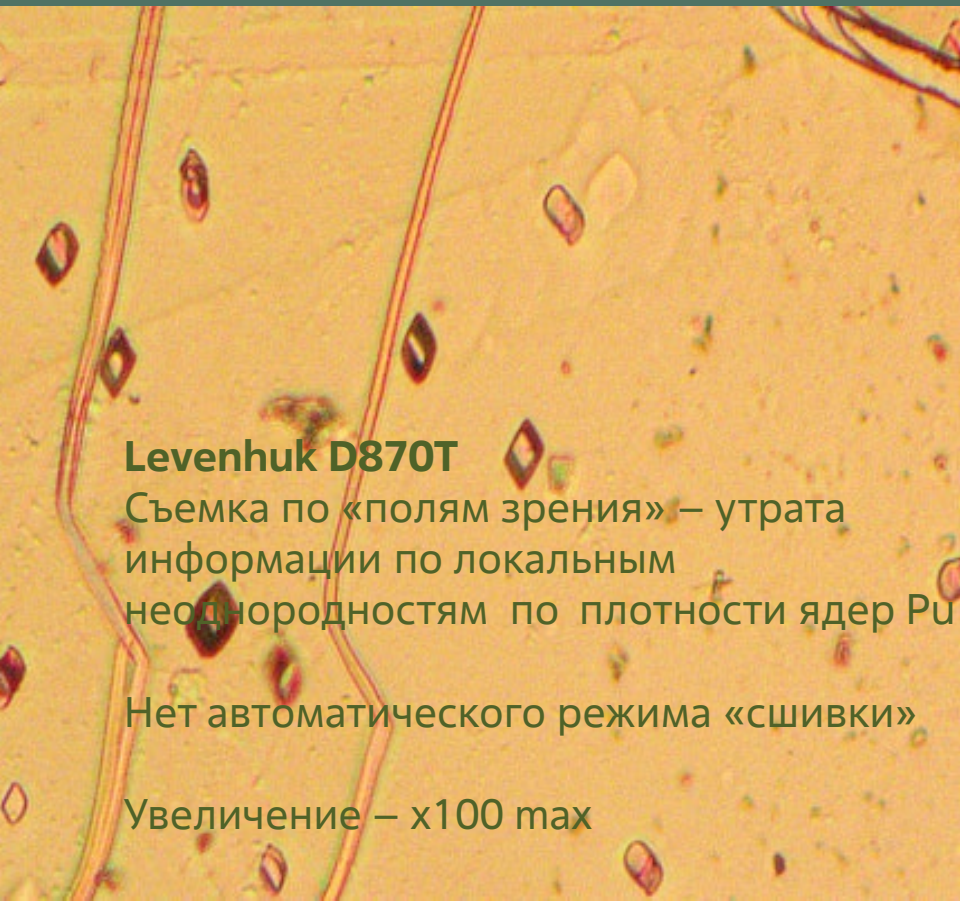
Погрешности

	$\Delta N_{\text{тр}}$	$\Delta N_{\text{яд}}$
факт	10% ручной счет	9% радиометр
цель	<5% CV	5% спектрометр

Трековая калориметрия. Технология резки слюды



Трековая калориметрия. CV:микросъемка

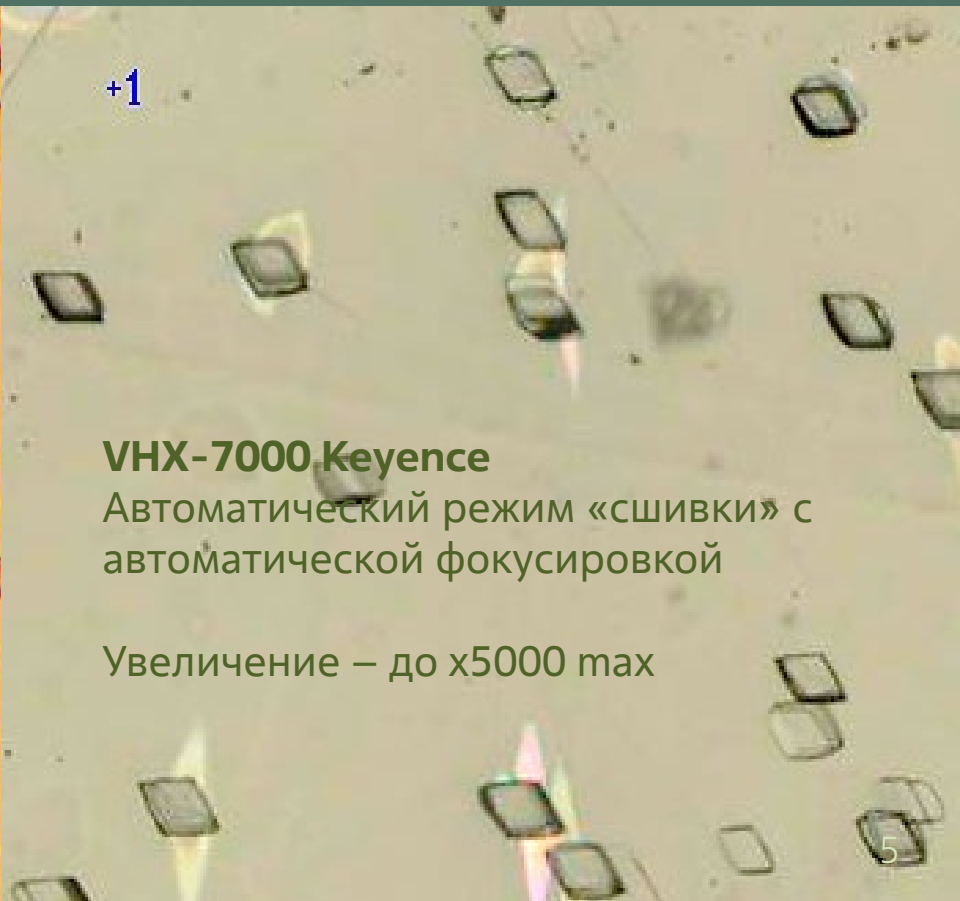


Levenhuk D870T

Съемка по «полям зрения» – утрата информации по локальным неоднородностям по плотности ядер Pu

Нет автоматического режима «сшивки»

Увеличение – x100 max



+1

VHX-7000 Keyence

Автоматический режим «сшивки» с автоматической фокусировкой

Увеличение – до x5000 max

Трековая калориметрия. CV:SARDA (YOLOv8)

Метрики CV

$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$

$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN})$

Тип обучения

Обучение с учителем

Цель

Precision, Recall → 1

CKO(Precision), CKO(Recall) → min < 1%

Проблема тестовой выборки – аннотация учителем не является истинным значением и имеет CKO

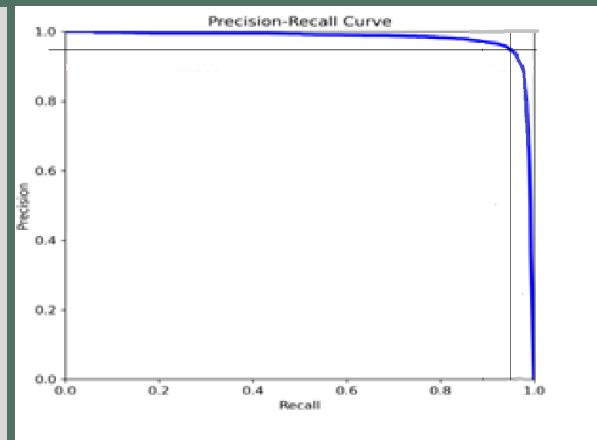
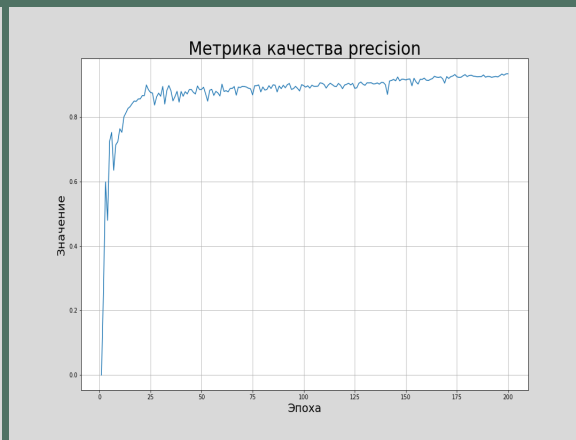
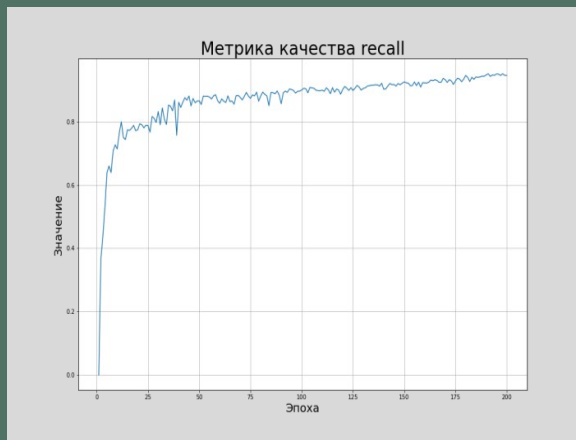
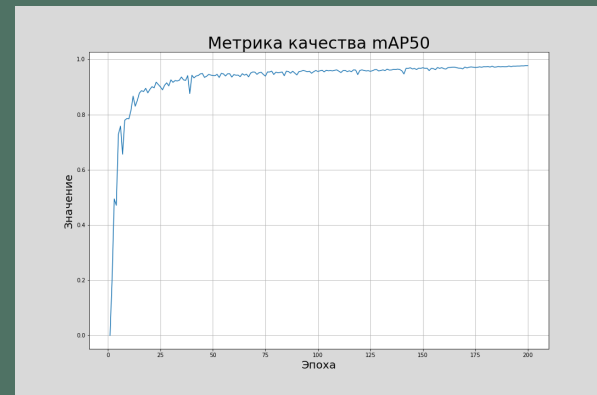
Решение – расширенная тестовая выборка, искусственно составленная из обучающей (и первичной тестовой) путем случайного размещения и поворота изображений треков

Дообучение по необходимости

Трековая калориметрия. CV:SARDA

Результаты первого этапа обучения

Точность	Полнота	Метрика средней точности (mAP50)
0.95	0.93	0.97





Критические эксперименты

Объект исследования – РС,
разделенная на две части

Измеряются характеристики:

- критичности;
- нестационарных процессов на мгновенных нейтронах;
- пространственно-энергетических распределений полей нейтронов.

$$\Delta k_{\text{eff}} < 0,1 \%$$

$$\Delta \lambda < 1 \%$$

$$\Delta S < 5\%$$

Критические эксперименты

Проблемы:

Исключительная опасность (ядерная) ручных операций по сборке и разборке РС

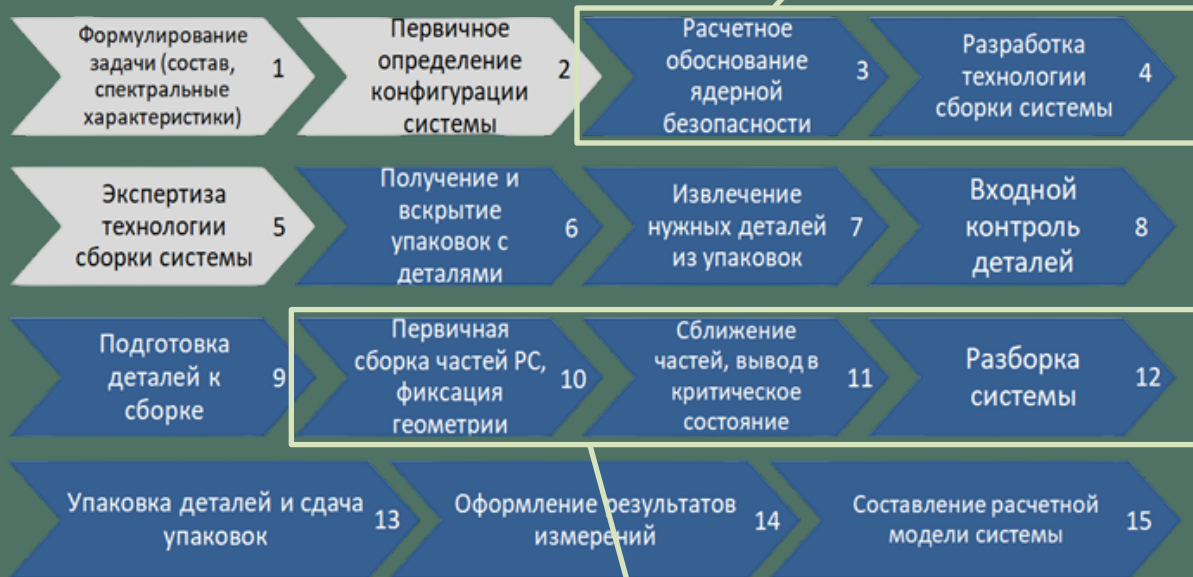
Ошибки человека в составлении технологии и выдаче исходных данных для разработки расчетной модели

Решение: цифровизация и роботизация

Роботизация и цифровизация на ФКБН

Существующая технология и ее цифровая трансформация

Цифровой
двойник



Робот

Функции ЦД технологии

Ввод расчетных моделей деталей РС

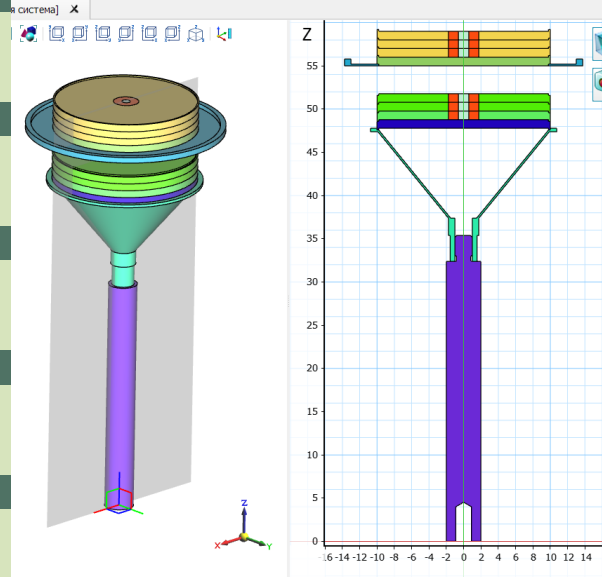
Конвертация расчетных моделей деталей РС в CAD-модели

Формирование CAD-модели РС в графической оболочке

Формирование расчетной модели РС из CAD-модели, запуск расчетов $K_{эф}$ и чисел реакций в программе ПРИЗМА

Визуализация результатов расчетов

Формирование STL-модели из CAD-модели и передача ее роботу



Роботизация технологии ФКБН

манипулятор

3D CV

Портальная
конструкция

Захват

Место сборки РС

щупы

детали РС

AI функции

Предупреждение
столкновений

Идентификация деталей

Контроль целостности
деталей

Контроль геометрии РС

Автоматическое составление
траекторий

В кооперации с
АО НПО «Андрoidная техника»

Заключение

Имеются перспективы развития технологий искусственного интеллекта, машинного зрения и робототехники в ядерно-физических исследованиях, проводимых в РФЯЦ-ВНИИТФ

Направления:

Уменьшение затрачиваемого времени.

Повышение точности и достоверности измерений.

Повышение безопасности человека.

Инструменты: CV, DT, ML, прецизионная робототехника.